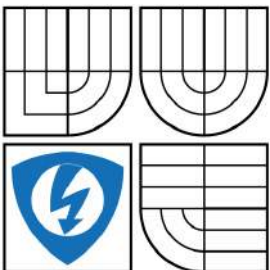


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

GATEWAY PRO PŘIPOJENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY OHŘÍVAČE VODY DO CLOUDU PROSTŘEDNICTVÍM DOMÁCÍ WI-FI

GATEWAY CONNECTING A WATER HEATER CONTROLLER TO A CLOUD THROUGH A
HOME WI-FI

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

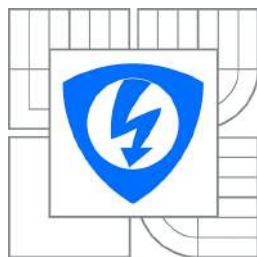
Bc. MARTIN ZRZAVÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Martin Zrzavý

ID: 125719

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Gateway pro připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu prostřednictvím domácí WiFi

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou gateway umožňující připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu prostřednictvím domácí WiFi sítě.
2. Rozeberte možnosti řešení gateway. Zvolte optimální řešení pro danou aplikaci, vyberte vhodné WiFi moduly a mikroprocesor. Nakreslete blokové schéma gateway.
3. Gateway navrhnete, nakreslete schéma zapojení a stanovte hodnoty jednotlivých součástek.
4. Gateway realizujte. Vytvořte výrobní dokumentaci.
5. Pro gateway navrhnete, implementujte a odlaďte potřebné softwarové vybavení.
6. Ověřte komunikaci gateway s cloudem, diskutujte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

IEEE 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. New York, NY: IEEE Computer Society, 2012. [online]. Dostupné z <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>>.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 19.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o návrhu gatewaye pro připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu pomocí domácí Wi-Fi sítě. V první části se práce zabývá hledáním vhodného řešení gatewaye. Druhá část se pak věnuje samotnému konceptu a návrhu gatewaye.

Klíčová slova

Gateway, CC3100, MSP430F5418, cloud, Wi-Fi, 802.11, brána

Abstract

This master's thesis is about concept of gateway connection a water heater controller to a cloud through a home Wi-Fi network. In the first part, possible solutions of Wi-Fi gateway are described. The next part describes development of the gateway and its realization.

Keywords

Gateway, CC3100, MSP430F5418, cloud, Wi-Fi, 802.11

Bibliografická citace:

ZRZAVÝ, M. *Gateway pro připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu prostřednictvím domácí Wi-Fi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 55s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Gateway pro připojení řídicí jednotky ohříváče vody do cloudu prostřednictvím domácí Wi-Fi jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **19. května 2014**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. a Ing. Radomíru Svobodovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **19. května 2014**

.....
podpis autora

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod.....	11
1 Účel gatewaye	12
2 Řídicí jednotka ohřívače vody	14
3 Současné řešení	15
4 Požadavky na gateway	17
5 Wi-Fi - Standard 802.11.....	18
5.1.1 Standard 802.11	18
5.1.1.1 802.11 legacy (802.11-1997)	18
5.1.1.2 802.11a-1999.....	19
5.1.1.3 802.11b-1999	19
5.1.1.4 802.11g-2003	19
5.1.1.5 802.11n-2009	19
5.1.1.6 802.11ac-2013	20
5.1.1.7 Další verze standardu	20
5.1.2 Zabezpečení Wi-Fi sítí.....	20
5.1.2.1 Zabezpečení pomocí WEP	20
5.1.2.2 Zabezpečení pomocí WPA.....	20
5.1.2.3 Zabezpečení pomocí WPA2.....	21
5.1.3 Vrstvy ISO/OSI definované standardem	21
5.1.4 Fyzická vrstva	21
5.1.5 Linková vrstva	22
6 Sériové rozhraní UART	23
7 Wi-Fi moduly dostupné na trhu	26
7.1 WM-N-BM-09 (USI).....	26
7.2 Type VK – Wi-Fi module (muRata)	26

7.3	SN8200 (muRata).....	27
7.4	MRF24WG0MA (Microchip)	27
7.5	RN131 (Microchip)	28
7.6	RTX4100 (RTX)	28
7.7	CC3100 (Texas Instruments).....	29
8	Koncepce gatewaye.....	30
8.1	Wi-Fi modul Texas Instruments CC3100.....	30
8.1.1	Spojení s řídicím mikrokontrolérem.....	32
8.1.2	Spojení s pamětí flash.....	35
8.2	Řídicí mikrokontrolér	36
8.2.1	Galvanické oddělení rozhraní UART	37
8.3	Podpůrné obvody gatewaye.....	38
8.4	Napájecí obvody gatewaye.....	38
9	Návrh DPS a mechanická konstrukce gatewaye.....	40
10	Software gatewaye	43
10.1	Software pro komunikaci s CC3100.....	43
10.2	Funkce pro ovládání hibernace.....	44
10.3	Funkce pro inicializaci rozhraní SPI	44
10.4	Funkce pro uzavření rozhraní SPI	46
10.5	Funkce pro zápis na rozhraní SPI.....	46
10.6	Funkce pro čtení z rozhraní SPI	47
11	Závěr	50
	Literatura.....	52
	Seznam použitých zkratk.....	54
	Seznam příloh.....	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Blokové schéma navrhované gatewaye.....	12
Obr. 2 – Současný nevyhovující funkční prototyp gatewaye	15
Obr. 3 – Wi-Fi modul Connect One Nano WiREACH SMT-EX	16
Obr. 4 - Rozhraní UART – řídicí jednotka [1]	23
Obr. 5 – Skladba Modbus rámce pro vyčtení z registru	25
Obr. 6 – Skladba Modbus rámce odpovědi od řídicí jednotky ohřívače	25
Obr. 7 - WM-N-BM-09 [3].....	26
Obr. 8 - muRata SN8200 [5]	27
Obr. 9 - Microchip MRF24WG0MA [6].....	28
Obr. 10 - Microchip RN-131 [7]	28
Obr. 11 - RTX 4100 [8]	29
Obr. 12 - Blokové schéma gateway	30
Obr. 13 - Vybrané řešení – Texas Instruments CC3100.....	31
Obr. 14 - Příklad SPI komunikace.....	33
Obr. 15- Blokové schéma spojení s řídicím MCU	33
Obr. 16- Blokové schéma připojení CC3100 k řídicímu MCU.....	34
Obr. 17 - Blokové schéma připojení flash paměti	36
Obr. 18 - Připojení UART	37
Obr. 19 - Jumpery sloužící jako hardwarové přepínače	38
Obr. 20 - Napájecí obvod gatewaye	39
Obr. 21 - Celkové schéma zapojení gatewaye.....	40
Obr. 22 - Vyrobená DPS - vrstva TOP, vrstva BOTTOM	41
Obr. 23 - Návrh DPS gatewaye	41
Obr. 24 - Osazená DPS	42
Obr. 25 – Popis součástí gatewaye	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Rozdělení adres v adresovém prostoru Modbus.....	24
Tab. 2 – Adresy prvního segmentu adresového prostoru Modbus	24
Tab. 3 - Seznam signálových vodičů SPI k řídicímu mikrokontroléru	34
Tab. 4 - Popis vnějších pinů konektorů CC3100.....	34
Tab. 5 - Popis vnitřních pinů konektorů CC3100.....	35
Tab. 6 - Seznam signálových vodičů SPI k sériové flash paměti.....	36
Tab. 7 - Popis vodičů rozhraní Spy-Bi-Wire	37

ÚVOD

V dnešní době je míra automatizace čím dál větší, a to jak v případě automatizace průmyslové, tak také automatizace domácností. Někaký druh řídicí jednotky obsahuje téměř každé zařízení.

Zadání této diplomové práce souvisí s řídicím systémem společnosti Honeywell HTS Brno, která tento systém poskytuje svým obchodním partnerům pod jejich obchodními názvy. Jedná se o řídicí systém plynových ohříváčů vody, který se vyznačuje výhodami v podobě šetření nákladů a času za dodržení konzistentní a přesné teploty. Mezi další výhody systému patří například inteligentní diagnostika pomáhající při řešení problémů.

Tato práce se zabývá návrhem gatewaye pro spojení řídicí jednotky ohříváče vody (bojleru) se vzdáleným serverem společnosti Honeywell. Jedná se zejména o průmyslové ohříváče vody.

V rané části vývoje prototypu a také cílem této práce je odesílání diagnostických dat a tato data na serveru zaznamenávat. Výhledově je pak možné prostřednictvím tohoto rozhraní celou jednotku řídit a může být také provedena vzdálená kalibrace jednotky.

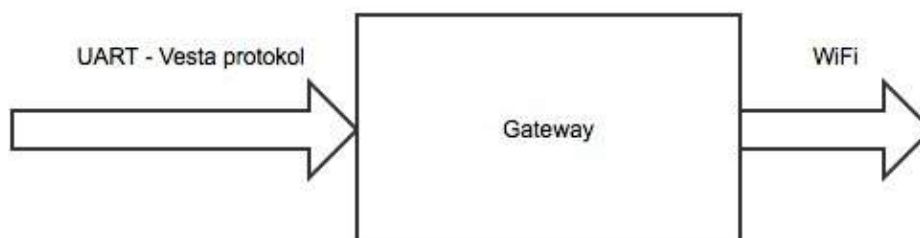
1 ÚČEL GATEWAYE

Navrhovaná gateway má být mezičlánkem v komunikaci mezi řídicí jednotkou ohřívače vody a vzdáleným serverem společnosti Honeywell pomocí bezdrátové sítě v místě instalace zařízení.

V současnosti je v praxi ke spojení s jednotkou používán speciálně navržený nástroj Vesta Serial Adapter pro snadné spojení jednotky s počítačem, určený zejména pro rychlou kontrolu funkčnosti jednotky. Mezi další funkce patří například také kalibrace a konečné testování při opouštění jednotky z výroby. Tento diagnostický nástroj je opticky oddělené zařízení, které funguje jako převodník mezi komunikačním standardem jednotky a standardem RS232 na straně osobního počítače. Jednotka používá proprietární protokol Vesta protocol firmy Honeywell. Jedná se o rozhraní UART používající protokol Modbus.

Prostřednictvím výše zmíněného sériového rozhraní jsou k dispozici tyto informace:

- Historie méně závažných a závažných chyb
- Informace o aktuální revizi software jednotky
- Výrobní data, informace o kalibraci
- Místní nastavení teploty, vzdálené nastavení teploty (hodnota/diference), nastavení teploty uživatelem (hodnota/diference)
- Aktuální teplota vody
- Aktuální teplota prostředí
- Aktuální napětí na termočláнку
- Aktuální spotřeba energie
- Stav plynového ventilu



Obr. 1 – Blokové schéma navrhované gatewaye

Toto rozhraní lze použít pro připojení řídicí jednotky k námi navrhované gateway. Navrhované zařízení má v první fázi vývoje za úkol v pravidelných intervalech vyčítat z řídicí jednotky ohřívače informace o jeho stavu a tyto zprávy odesílat přes rozhraní Wi-Fi. Jedná se tedy o zaznamenávání provozních dat na vzdálené úložiště – server společnosti Honeywell.

Blokové schéma koncepce navrhovaného zařízení je znázorněna na blokovém schématu na Obr. 1.

2 ŘÍDICÍ JEDNOTKA OHŘÍVAČE VODY

Gateway, která je předmětem této diplomové práce, je určena ke komunikaci s řídicí jednotkou ohříváče vody. Jednotka je zařízení s nízkými energetickými nároky využívající výstup o nízkém napětí k řízení hořáku ohříváče vody.

Během své činnosti řídicí jednotka měří teplotu pomocí dvojice senzorů teploty - termistorů NTC, ponořených v komoře tanku snímající ohřivanou vodu. Na základě této teploty je řízen hlavní ventil.

Řídicí jednotka ohříváče vody je vybavena mikrokontrolérem, který řeší jednoduchou úlohu regulace hořáku ohříváče, kdy je požadavek na ohřev vyvolán na základě lokálně nastavené teploty. Tuto teplotu je možné vzdáleně snížit (nikoliv zvýšit). Regulační úloha je doplněna o algoritmy, které zvyšují efektivitu ohřevu. Jedná se například o detekci ztráty plamene, která je vyhodnocována na základě snížení napětí na měřicím termočlánku. Dále se jedná například o urychlený ohřev vody dočasným zvýšením požadované teploty nebo algoritmus pro předcházení hromadění horké vody v horní části zásobníku.

Snímač jednotky je umístěn v komůrce vyrobené z plastu. Vzhledem k relativně dlouhé časové konstantě ohřevu plastu oproti mědi je využíváno softwarové predikce aktuální teploty vody na základě změny teploty a teploty okolního prostředí.

Jednotka je vybavena bezpečnostním (Fail-safe) řešením softwaru i hardwaru. Disponuje také funkcí detekce horního limitu teploty a následného odpojení ohříváče.

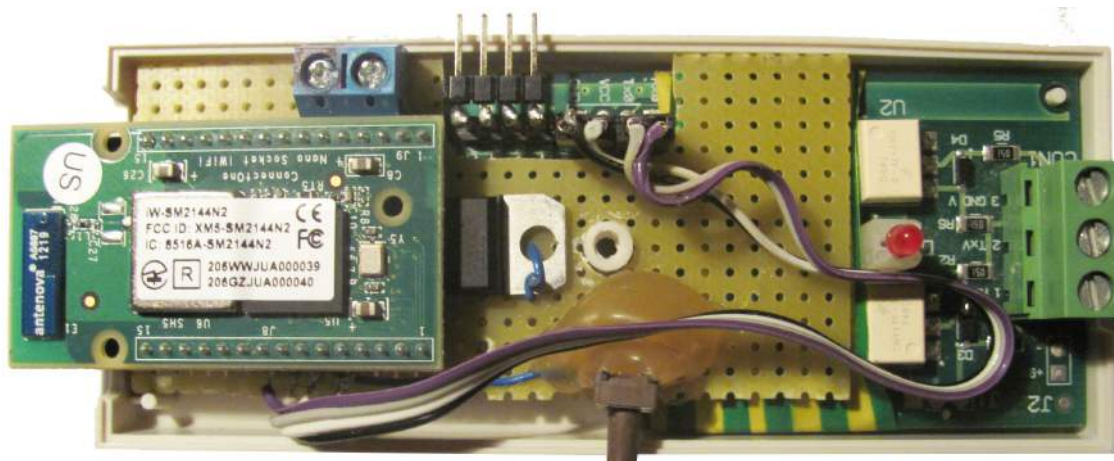
Jednotka je vybavena obousměrným sériovým rozhraním. Na tomto rozhraní je používán protokol Modbus. Mezi funkce, které jdou z jednotky vyčíst, patří například stav systému a historie chyb. Nastavit lze požadovanou teplotu, teplotní diferenci (velikost hystereze). [1]

3 SOUČASNÉ ŘEŠENÍ

Firma Honeywell spol. s r. o., která tuto práci zadávala, má vytvořen prototyp, který demonstruje možnost propojení řídicí jednotky ohřívače se serverem pro zpracování dat přes síť Wi-Fi a Internet. Vzhledem k vysokým výrobním nákladům a nízké robustnosti návrhu je však toto řešení nevyhovující pro komerční výrobu.

Současné řešení vychází z konceptu dříve popsaného nástroje Vesta Serial Adapter, který slouží k propojení řídicí jednotky ohřívače s osobním počítačem. Jedná se o převodník mezi komunikačním protokolem řídicí jednotky ohřívače vody a komunikační sběrnici RS232.

DPS nástroje Vesta Serial Adapter byla použita pro vytvoření prototypu s Wi-Fi modulem Nano WiREACH SMT-EX od společnosti Connect One. Ten připojuje jednotku do sítí 802.11b/g. Modul obsahuje 32 bitový procesor ARM7TDMI o frekvenci 48 MHz. Pracuje s napětím 3,3 V. Jeho spotřeba v režimu vysílání je 250 mA a 190 mA v režimu příjmu. K procesoru s programem je modul propojen pomocí sériového rozhraní RS232. Zabezpečení spojení lze provést pomocí WEP i WPA a WPA2. Modul má certifikát FCC i certifikátem ETSI.



Obr. 2 – Současný nevyhovující funkční prototyp gatewaye

Jako aplikační procesor je použit procesor MSP430F5418. Jedná se o 16 bitový mikrokontrolér obsahující 128 KB paměti Flash, 16 KB RAM.



Obr. 3 – Wi-Fi modul Connect One Nano WiREACH SMT-EX

Vysoká cena řešení vychází zejména z ceny Wi-Fi modulu Nano WiREACH SMT-EX, který se dá pořídit za cca \$30. Celkové náklady jsou pak cca \$70. [3]

4 POŽADAVKY NA GATEWAY

Gateway, pro jejíž realizaci hledáme vhodné řešení, by měla dle zadání firmy Honeywell splňovat dva hlavní požadavky, a to nízké výrobní náklady při zachování spolehlivosti a také bezpečnost komunikace.

Z důvodu výrazného zjednodušení vývoje bylo vybráno řešení pomocí Wi-Fi modulu, avšak výrazně levnějšího, než byl použit ve stávajícím nevyhovujícím prototypu. Modul by měl být schopen komunikovat s řídicím mikrokontrolérem MSP430F5418, převzatým z původního nástroje Vesta Serial Adapter. Proto je nutné brát v potaz možné způsoby komunikace s hostujícím mikrokontrolérem. Mezi další požadavky patří podpora standardu Wi-Fi 802.11 minimálně ve verzích b a g. Nutností je také zabezpečení přenosu na straně Wi-Fi. Dalším faktorem, podle kterého jsme Wi-Fi modul vybírali, byla integrace fyzické, linkové a síťové vrstvy referenčního OSI modelu. Důležitá je také schopnost modulu pracovat jak v režimu stanice, tak v režimu přístupového bodu nebo Wi-Fi Direct. Režim přístupového bodu je nutný pro prvotní konfiguraci zařízení, tj. výběr Wi-Fi sítě a případné zadání zabezpečovacího klíče. S tím také souvisí možnost konfigurace webového serveru v zařízení. Dalším faktorem je také přítomnost antény popř. konektor pro připojení antény externí.

Mezi další požadavky patří také jednotné napájení v rámci celé gateway. Gateway je připojená k síťovému adaptéru s výstupem 5V. Řídicí mikrokontrolér vyžaduje napájení 3,3V. Preferovány proto budou Wi-Fi moduly se stejným napájecím napětím. Nutné je také galvanické oddělení zařízení na rozhraní s řídicí jednotkou ohříváče vody.

Gateway musí splňovat všechny platné normy. Podmínkou by měla být certifikace produktu FCC pro použití ve Spojených státech a certifikát ETSI pro oblast Evropy.

Dále je třeba posuzovat zařízení také podle jeho spotřeby a výkonu vysílací části.

5 WI-FI - STANDARD 802.11

Wi-Fi je označení pro soubor standardů IEEE 802.11, které popisují bezdrátovou síťovou komunikaci. Výhodou této technologie je využívání bezlicenčního pásma. Tato technologie se stává čím dál více oblíbenou, v současné době hlavně díky hojnému rozšíření v mobilních telefonech a dalších mobilních zařízeních a domácích spotřebičích.

Sítě Wi-Fi mohou být méně bezpečné než například komunikace prostřednictvím ethernetu. Je to dáno hlavně tím, že u bezdrátového spojení není třeba, aby měl útočník fyzický přístup k médium. Díky tomuto problému bylo do technologie implementováno šifrování spojení. Dříve hojně používané zabezpečení WEP je v současné době již technologicky překonáno, a proto se používají novější a spolehlivější metody zabezpečení WPA a WPA2.

5.1.1 Standard 802.11

Od doby svého vzniku prošla tato technologie samozřejmě velkým vývojem a vzniklo hned několik verzí standardu, které se liší zejména v rychlosti přenosu.

5.1.1.1 802.11 legacy (802.11-1997)

Původní verze standardu 802.11 bývá označována jako 802.11 legacy nebo 802.11-1997. Tato verze byla vydána, jak již bylo zmíněno výše, v roce 1997. V dnešní době je již zastaralá. Maximální přenosová rychlost spojení byla 2 Mbit/s. Ve fyzické vrstvě byly specifikovány tři různé varianty spojení. První z nich byla technologie infračerveného přenosu, ta dosahovala rychlosti 1 Mbit/s. Infračervený přenos zůstal součástí standardu, neexistují však žádné reálné implementace. Varianty rozprostřeného spektra s technikou přeskočků frekvencí a technikou přímé sekvence dosahovaly již zmíněné rychlosti 2 Mbit/s. Tyto dvě varianty používaly pro přenos mikrovlnné vysílání o frekvenci 2,4 MHz.

Součástí standardu byla také metoda přístupu k médium CSMA/CA (metoda s vícenásobným přístupem s nasloucháním nosné). Touto metodou se sice spotřebovává značná část kapacity přenosu, získáme ale vyšší spolehlivost za horších podmínek pro přenos.

Díky neúplné definici celého standardu docházelo k mírným odlišnostem v implementacích jednotlivých výrobců, a proto bylo často obtížné zajistit kompatibilitu dvou různých zařízení.

5.1.1.2 802.11a-1999

Další verze byla označována jako 802.11a-1999 nebo také zkráceně 802.11a. Jedná se o dodatek k verzi 802.11-1997, definující metodu širokopásmové modulace ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením. Původním důvodem vzniku tohoto dodatku byla funkčnost v pásmu 5 – 6 GHz. Později byl použit v dodatku z roku 2012, který definuje přenos o rychlostech 1,5 až 54 Mbit/s. Přestože původní dodatek již není platný, termín 802.11a je výrobci Wi-Fi zařízení používán dodnes. Výrobci zařízení takto označují zařízení fungující na frekvenci 5,8 MHz o přenosové rychlosti 54Mbit/s.

5.1.1.3 802.11b-1999

Verze 802.11b dosahuje maximální rychlosti 11 Mbit/s při použití stejného kmitočtového pásma 2,4 GHz jako v prvotním standardu. K modulaci používá techniku přímého rozprostřeného spektra (DSSS). Jako metoda přístupu je použita metoda CSMA, konkrétně ve variantě Collision Avoidance (CA).

Výrazný nárůst rychlosti v kombinaci se snižováním ceny vedl k velkému rozšíření této technologie.

5.1.1.4 802.11g-2003

Verze 802.11g variantu b rozšiřuje. Velkou výhodou je její zpětná kompatibilita, jelikož vysílá ve stejném frekvenčním pásmu. Maximální rychlost tohoto přenosu je 54 Mbit/s. Jako modulační schéma je použita širokopásmová modulace využívající kmitočtové dělení kanálu (OFDM). Pracuje s rozprostřeným spektrem, signál je vysílán na vzájemně ortogonálních frekvencích.

Velkým problémem verzí pracujících na frekvenci 2,4 GHz je rušení přístroji pracujícími ve stejném kmitočtovém pásmu, jako jsou například bezdrátové telefony, bluetooth zařízení nebo dětské chůvičky.

5.1.1.5 802.11n-2009

Verze 802.11n je standard, který upravuje fyzickou vrstvu a podčást linkové vrstvy tak, aby se dalo docílit reálných rychlostí nad 100 Mbit/s. Zvýšení rychlosti se dosahuje použitím více vysílacích a přijímacích antén. Teoreticky se dá za použití 4 antén a kanálu širokého 40 MHz dosáhnout rychlosti 600 Mbit/s. Této rychlosti je však reálné dosáhnout pouze v místech, kde nedochází k rušení od ostatních přístrojů. V reálném prostředí se používá šířka kanálu 20 MHz, která je na rušení méně náchylná. Standard operuje na frekvencích 2,4 a 5 GHz.

5.1.1.6 802.11ac-2013

Tato verze je založená na variantě 802.11n. Změnou oproti svému předchůdci jsou širší kanály (80 nebo 160 MHz) při frekvenci 5 GHz a vyšší řád modulace. V poslední verzi tento standard dosahuje teoretické rychlosti až 1300 Mbit/s při šířce kanálu 80 MHz v pásmu 5 GHz.

5.1.1.7 Další verze standardu

Mezi další verze, které jsou prozatím převážně ve fázi vývoje, patří například verze 802.11ad, která pracuje v pásmu 60 GHz a disponuje teoretickou rychlostí přenosu 7 Gbit/s.

5.1.2 Zabezpečení Wi-Fi sítí

Oproti tradičním kabelovým sítím se vyznačuje technologie bezdrátového připojení mnohem větší volností uživatelů v přístupu k samotné síti. To je vykoupeno většími bezpečnostními riziky. Z tohoto důvodu vzniklo postupem času několik metod zabezpečení těchto sítí.

5.1.2.1 Zabezpečení pomocí WEP

Nejstarší typ zabezpečení nese označení WEP (Wired Equivalent Privacy). Jedná se o šifrovací algoritmus, který byl součástí standardu 802.11b z roku 1999.

Algoritmus využívá algoritmu RC4, který generuje pseudonáhodný proud bajtů. Tím je pomocí operace XOR šifrován čistý text. Dešifrování pak probíhá inverzní operací.

Vzhledem k objevení spousty bezpečnostních nedostatků byl tento algoritmus nahrazen nástupci WPA a později WPA2. Navzdory chybám, které algoritmus obsahuje, poskytuje i v dnešní době minimální zabezpečení sítě.

5.1.2.2 Zabezpečení pomocí WPA

Zabezpečení typu WPA bylo jen dočasným řešením pro nahrazení méně bezpečného zabezpečení WEP. Již při jeho uvedení bylo počítáno s jeho nástupcem WPA2.

Součástí této metody zabezpečení byl protokol TKIP (Temporal Key Integrity Protocol). Tento protokol využíval stejného algoritmu jako WEP, tedy RC4. Obsahoval však některé důležité modifikace. Během komunikace se pro každý bajt klíč dynamicky mění. Je také využíván delší inicializační vektor (48 bit).

5.1.2.3 Zabezpečení pomocí WPA2

Přestože zabezpečení typu WPA nebylo nikdy prolomeno, v roce 2004 bylo zavedeno standardem IEEE 802.11i zabezpečení typu WPA2. To již nepoužívá algoritmus RC4 jako jeho předchůdci. Využívá algoritmus CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), který je založen na šifrování AES. Šifrování AES je symetrická bloková šifra využívající klíč o délce 128, 192 nebo 256 bitů. Tato metoda zabezpečení je v současné době považována za zcela bezpečnou. Od roku 2006 jsou všechna nová zařízení žádající o certifikaci Wi-Fi tuto metodu zabezpečení podporovat.

5.1.3 Vrstvy ISO/OSI definované standardem

Stejně jako u ostatních síťových zařízení a protokolů, bezdrátové sítě standardu 802.11 vychází z referenčního modelu ISO/OSI.

5.1.4 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva je nejnižší vrstvou referenčního modelu. Zprostředkovává samotný příjem a vysílání dat bezdrátovým prostředím.

Kmitočtové spektrum přidělené standardu Wi-Fi je rozděleno do několika oddělených kanálů.

Pásmo 2,4 GHz je rozděleno do 14 kanálů vzdálených od sebe 5 MHz. První kanál má frekvenci 2,412 MHz, poslední čtrnáctý má frekvenci 2,484 MHz. Mimo jiné je ve standardu definována také spektrální maska, která definuje dovolené rozložení výkonu v každém kanálu. Ta udává, že každý kanál musí být minimálně 22 MHz široký. Z toho vyplývá, že prakticky použitelný je vždy každý čtvrtý nebo pátý kanál, aniž by docházelo k jejich překrytí.

Wi-Fi signál je často přenášen na krátké vzdálenosti. Zpravidla se jedná o desítky až stovky metrů v interiérech budov. Signál se pak může odrážet od zdí, nábytku a přicházet pak k cíli s různým zpožděním a vznikají různé interference. Proto Wi-Fi využívá kombinaci tří různých metod přenosu signálu.

Pro fyzickou vrstvu je přenos ve standardu 802.11 pro rádiový přenos v rozprostřeném spektru definován technikou přímé sekvence (DSSS) nebo technikou přeskočků kmitočtů (FHSS).

Technika přímého rozprostřeného spektra pracuje tak, že každý bit přenášených dat je nahrazen sekvencí 11 tzv. chipů, jejichž charakter je zpravidla náhodný. Přenášena je pak tato sekvence. Tím se do signálu zavádí redundance a signál je méně

citlivý vůči rušení. Navíc při neznalosti náhodné sekvence je velmi obtížné získat přenášená data, jelikož sekvenci zná pouze vysílač a přijímač.

Metoda přeskakování mezi frekvencemi je druhou metodou pro přenos v rozprostřeném spektru. Princip spočívá ve změně frekvence typicky dvacetkrát za sekundu podle dané skokové sekvence obsahující až 78 možných frekvencí. Při detekci chybně přeneseného rámce dochází k opětovnému přenosu na další frekvenci.

Velkou výhodou systémů s rozprostřeným spektrem je, že mohou být umístěny v jedné lokalitě bez nutnosti přidělování frekvencí. Z toho vyplývá možnost bezlicenčního provozu. U FHSS je tak možno provozovat v jenom místě bez problémů cca 15 systémů, u DSSS pouze 3. Menší počet systémů u DSSS je dán omezením počtu chipů v sekvenci.

DSSS má výhodu ve větší propustnosti, což je dáno tím, že FHSS spotřebovává určitý čas na přeskok mezi frekvencemi.

Fyzická vrstva je ve standardu 802.11 rozdělena do dvou podvrstev. Physical Layer Convergence Procedure (PLCP) je podvrstva, ve které se k datovým rámcům MAC podvrstvy přikládají informace o přenosovém mechanismu a modulaci. Podvrstva obsahuje také funkci Clear Channel Assessment pro oznámení připravenosti přenosového média.

Druhou podvrstvou je podvrstva Physical Medium Dependent (PMD), která již odpovídá za přenos mezi vysílačem a přijímačem.

5.1.5 Linková vrstva

Standard 802.11 definuje pouze podvrstvu MAC linkové vrstvy ISO/OSI modelu.

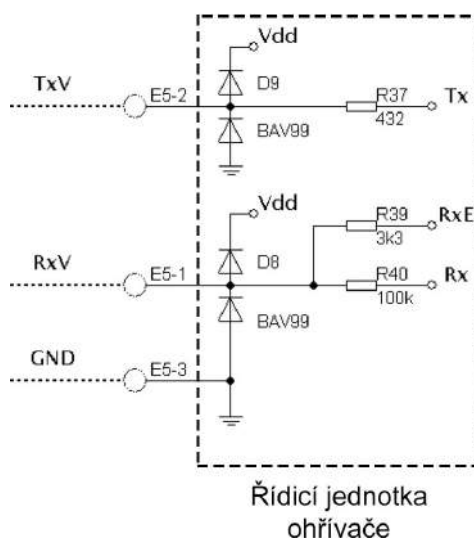
Základním přístupovou metodou je CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). CSMA je metoda, která se používá u ethernetu. Carrier sense (detekce nosné) znamená, že zařízení před vysláním naslouchá na médium a začne vysílat, jen pokud je médium volné. Multiple Access (vícenásobný přístup) pak znamená, že umožňuje přístup více stanicím současně. Standard Wi-Fi na rozdíl od ethernetu, který používá detekci kolizí (CD – Collision Detection), používá předcházení kolizí (Collision Avoidance). Tento přístup se vyznačuje tím, že stanice naslouchá, zda je médium volné a pokud tak je, čeká určený čas a teprve po jeho uplynutí začíná vysílat. Přijímač po přijetí odešle potvrzení. Pokud toto potvrzení vysílací stanice neobdrží, opakuje se vysílání.

Řídící jednotka ohřívače vody používá mikrokontrolér společnosti Texas Instruments MSP430G2533. Jedná se o mikrokontrolér s velmi nízkou spotřebou. Zařízení obsahuje 16 bitový procesor. Pro připojení ke gateway využívá sériového rozhraní UART v režimu IR. [2]

6 SÉRIOVÉ ROZHRAŇÍ UART

Pro spojení s řídicí jednotkou ohříváče vody máme k dispozici sériové rozhraní UART. Komunikace probíhá prostřednictvím třívodičového spojení s napětovou úrovní 3 V. Rozhraní se skládá z vodiče Rx (příjem dat), vodiče Tx (vysílání dat) a vodiče GND (reference).

UART pracuje do vzdálenosti přibližně 1 m a rychlost přenosu je 2,4 až 115,2 Kb/s. Ohříváč vody využívá toto rozhraní v režimu IR a používá proto pulzní modulaci 3/16 délky doby trvání jednoho bitu. Pulzní modulace se používá proto, aby se uspořila energie při přenosu.



Obr. 4 - Rozhraní UART – řídicí jednotka [1]

Stanovená délka znaku je 8 bitů, bez parity. Použitá je rychlost 2400 baud/s. Ukončující rámec je definován jako 30 ms ticha.

Komunikace probíhá na protokolu Modbus. Protokol Modbus je komunikační protokol sedmé vrstvy OSI modelu, poskytující komunikaci typu klient/server mezi zařízeními připojenými na různých sítích a sběrnících. Vyznačuje se velmi jednoduchou strukturou, což přispívá k jeho stále rostoucí oblibě. Modbus je protokol typu požadavek-odpověď a jeho funkce jsou označeny funkčními kódy. Protokol Modbus podporuje dva vysílací režimy – Modbus RTU a Modbus ASCII. V našem případě je použit režim RTU.

V aplikační vrstvě je zaveden jeden adresový prostor a jen jeden datový typ Word (16 bitů). Maximální délka Modbus rámce je v naší aplikaci omezena na 26 bytů. Z toho vyplývá, že jedním požadavkem může být čteno nebo zapsáno nejvýše 12 registrů.

Jako nejvyšší vrstva je implementována vrstva VWCOM (Vesta-WHAM Communication). Tato vrstva definuje význam jednotlivých adres v adresovém prostoru Modbus. Prostor adres je rozdělen do šesti segmentů po 256 bytech.

Tab. 1 – Rozdělení adres v adresovém prostoru Modbus

Počáteční adresa	Název	Obsah adresy
0	VWCOM_RO	Provozní stav ohřívače vody (pouze ke čtení)
256	VWCOM_WO	Konfigurace ohřívače vody (pouze pro zápis)
512	VWCOM_RW	Kalibrační údaje (ke čtení i zápisu)
768	VWCOM_CO	Tovární konfigurace (pouze ke čtení)
1024	VWCOM_INFO	Historie provozu a chyb (pouze ke čtení)
1280	VWCOM_LDO	Data speciálního LDO alg. (pouze ke čtení)

V rámci prototypu jsou vyčítány pouze data z prvního segmentu. Rozdělení adres v tomto segmentu je uvedeno v Tab. 2. Konkrétně se jedná o hodnoty teploty vody (adr. 2), skutečná aktuální teplota používaná pro řízení (adr. 10), požadavek na ohřev (adr. 6) a aktuální chybový stav (adr. 7). Úkolem gatewaye je tato data v pravidelných intervalech vyčítat a přeposílat ve formě logu na vzdálený server.

Tab. 2 – Adresy prvního segmentu adresového prostoru Modbus

Adresa	Název	Obsah adresy
0+0	TEMP_W_RAW_U	Napětí na U-senzoru 12bit
0+1	TEMP_W_RAW_L	Napětí na L-senzoru 12bit
0+2	TEMP_W	Teplota vody [0.1°F]
0+3	TEMP_W_EST	Kompenzovaná teplota vody [0.1°F]
0+4	TEMP_A	Teplota prostředí [0.1°F]
0+5	SP_LOC	Lokální nastavená teplota [0.1°F]
0+6	HEAT_RQ	Požadavek na ohřev: (0x0000-vypnut; 0x001F-zapnut, hlavní ventil uzavřen; 0x1F1F-zapnut, hlavní ventil otevřen)

0+7	FAULT_RAM	Aktuální chybový stav, 0 = žádný
0+8	PWM_DCDC	DCDC PWM hodnota
0+9	V_TP	Napětí ventilu zapalovacího hořáku v (16/9) mV
0+10	SP_ACT	Skutečná aktuální teplota používaná v řízení teploty [°F]
0+11	DIFF_ACT	Skutečná difference teploty používaná v řízení teploty [°F]
0+12	SP_USR	Uživatelsky nastavená teplota v 0.1°F
0+13	DIFF_USR	Uživatelsky nastavená difference v 0.1°F

Rámec odesílaný přes rozhraní jako požadavek na vyčtení hodnoty se skládá z adresy zařízení slave (definována jako 127), kód funkce (03 – čtení registru) a dat. V našem případě jsou data adresou v prvním segmentu paměťového prostoru. Rámec je zakončen kontrolním součtem CRC. Celý rámec požadavku je znázorněn na Obr. 5.

0xF7	0x03	0x00	0x02	0x00	0x01	[CRC_low]	[CRC_high]
Vesta adresa	Funkční kód	Adresa registru		Počet registrů		CRC	

Obr. 5 – Skladba Modbus rámce pro vyčtení z registru

Odpověď od řídicí jednotky ohřívače vody má následující skladbu. Nejprve je opět udána adresa slave zařízení a funkční kód. Poté je zapsán počet následujících bajtů obsahujících odpověď a ukončen je dvěma bajty CRC kontrolního součtu. [1]

0xF7	0x03	0x01	0xXX	0xXX	[Crčelo]	[CRC_high]
Vesta adresa	Funkční kód	Počet bajtů	Hodnota registru		CRC	

Obr. 6 – Skladba Modbus rámce odpovědi od řídicí jednotky ohřívače

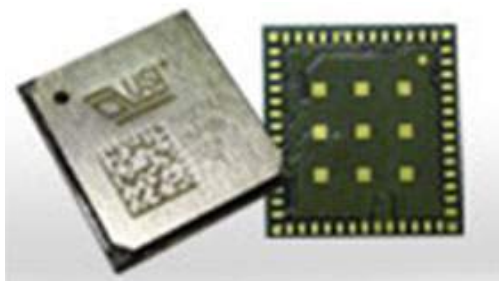
7 WI-FI MODULY DOSTUPNÉ NA TRHU

Po průzkumu nabídky současného trhu jsme dospěli k několika variantám řešení. Tyto produkty a jejich základní parametry jsou popsány v této kapitole.

7.1 WM-N-BM-09 (USI)

Produkt od společnosti USI obsahuje Wi-Fi čip BCM43362 od Broadcom a patří do skupiny zařízení WICED (Wireless Internet Connectivity for Embedded Devices), která usnadňují implementaci Wi-Fi konektivity do zařízení.

Modul podporuje standard 802.11b/g a n. Také disponuje funkcí Wi-Fi Direct. K dispozici jsou jednoduché API pro přístup k Wi-Fi a síťovým funkcím. Pro propojení s aplikačním procesorem slouží spojení SPI, UART nebo USB. Zařízení obsahuje plný TCP/IP stack. Jako aplikační procesor je přítomen procesor STM32 ARM Cortex-M3. Produkt je certifikován certifikátem FCC. [3]



Obr. 7 - WM-N-BM-09 [3]

7.2 Type VK – Wi-Fi module (muRata)

Toto zařízení je vybaveno Wi-Fi čipem CC3000 firmy Texas Instruments. Podporuje IEEE standard 802.11b/g. K aplikačnímu procesoru se připojuje pomocí sériového rozhraní SPI. Cena této varianty vychází na \$13 za kus. Zařízení má integrováno TCP/IP stack. Certifikován je certifikátem FCC a IC.

K zařízení je třeba ještě připojit některý z low-cost procesorů, který není součástí. [4]

7.3 SN8200 (muRata)

Modul SN8200 od společnosti muRata obsahuje Wi-Fi čip BCM43362 od Broadcomu. Podporuje standard IEEE 802.11b/g a n. K aplikačnímu procesoru se dá připojit pomocí sériového rozhraní UART, SPI. Obsahuje také konektor UFL RF pro připojení externí antény a také interní anténu. Disponuje plným TCP/IP stackem. Zařízení zvládá Wi-Fi v módu přístupového bodu i klienta. Je vlastníkem certifikátu FCC.

Produkt v sobě obsahuje také procesor STM32 ARM Cortex-M3.



Obr. 8 - muRata SN8200 [5]

Toto řešení má obdobnou charakteristiku jako varianta od USI. Cena tohoto produktu je cca \$32. [5]

7.4 MRF24WG0MA (Microchip)

Další možností je výrobek společnosti Microchip MRF24WG0MA. Zařízení podporuje IEEE standard 802.11b/g. Disponuje funkcí Wi-Fi Direct. Modul obsahuje plný TCP/IP stack. K aplikačnímu procesoru se připojuje pomocí sériového rozhraní UART, SPI. Disponuje integrovanou anténou. Vlastní certifikáty FCC, IC a ETSI.

Produkt nemá v sobě obsažen procesor. Je určen k připojení PIC mikrokontrolérů téže společnosti. Cena tohoto produktu je \$22. [6]



Obr. 9 - Microchip MRF24WG0MA [6]

7.5 RN131 (Microchip)

Microchip RN131 je Wi-Fi modul podporující standard 802.11b/g. Pro připojení k aplikačnímu procesoru lze využít UART, SPI. Produkt obsahuje plný TCP/IP stack a anténa je přítomna interní nebo lze připojit externí anténu pomocí konektoru UFL RF. Výrobek vlastní certifikáty FCC, IC a odpovídá certifikátu RoHS. [7]



Obr. 10 - Microchip RN-131 [7]

7.6 RTX4100 (RTX)

RTX4100 je řada Wi-Fi modulů od společnosti RTX. Modul podporuje standard 802.11b/g a n a obsahuje plný TCP/IP stack. Disponuje jak interní anténou, tak také konektorem UFL RF pro připojení antény externí. K aplikačnímu procesoru se připojuje pomocí sériového rozhraní UART. Splňuje certifikáty FCC, IC a ETSI. Cena tohoto řešení je necelých \$30. [8]



Obr. 11 - RTX 4100 [8]

7.7 CC3100 (Texas Instruments)

Jednotka CC3100 je prozatím v předprodejní fázi a k dispozici jsou jen vývojové kity. Základem je Wi-Fi procesor, který zvládá standardy 802.11b/g a n. Zvládá práci v módech klient, přístupový bod a Wi-Fi Direct. Obsahuje plný TCP/IP stack ve verzích IPv4 i 6. Součástí jednotky je procesor ARM Cortex™-M3.

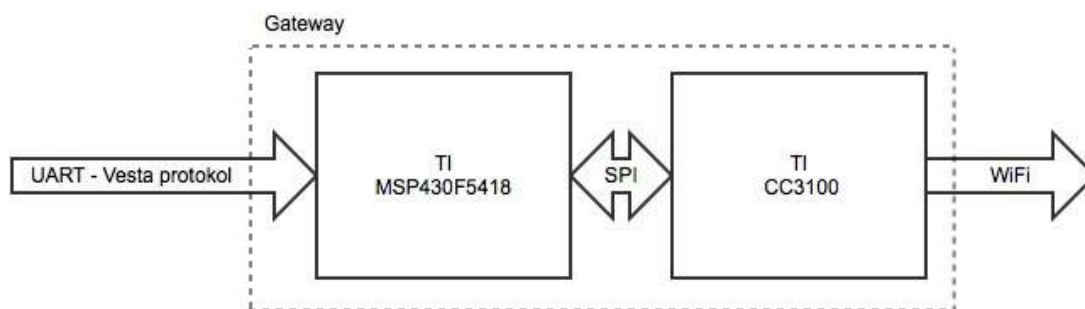
Jednotka bude v konečné verzi ve třech variantách. V první variantě se jedná jen o samotný Wi-Fi procesor. Druhá varianta obsahuje také aplikační procesor ARM Cortex M4. Jednotka však neobsahuje paměť pro aplikaci, proto je nutné připojit ještě externí paměť. Třetí varianta pak obsahuje i integrovanou flash paměť pro aplikace o velikosti až 256 KB.

Podle dostupných informací bude cena tohoto řešení nižší než \$10. [9]

8 KONCEPCE GATEWAYE

Na základě průzkumu trhu a zvážení jednotlivých možností vzhledem k požadavkům, jsme jako produkt nejvíce vhodný pro naše zadání vybrali řešení od firmy Texas Instruments Wi-Fi modul CC3100. Všechny produkty disponují obdobnými specifikacemi, vybraný produkt má však výrazně nižší cenu a i díky tomu je preferován také společností Honeywell. Velkou roli při výběru hrál také stejný výrobce řídicího mikrokontroléru a Wi-Fi modulu. Tato kombinace zaručuje plnou kompatibilitu a také podporu výrobce.

Blokové schéma celé gateway je zobrazeno na Obr. 12. Skládá se ze dvou bloků.



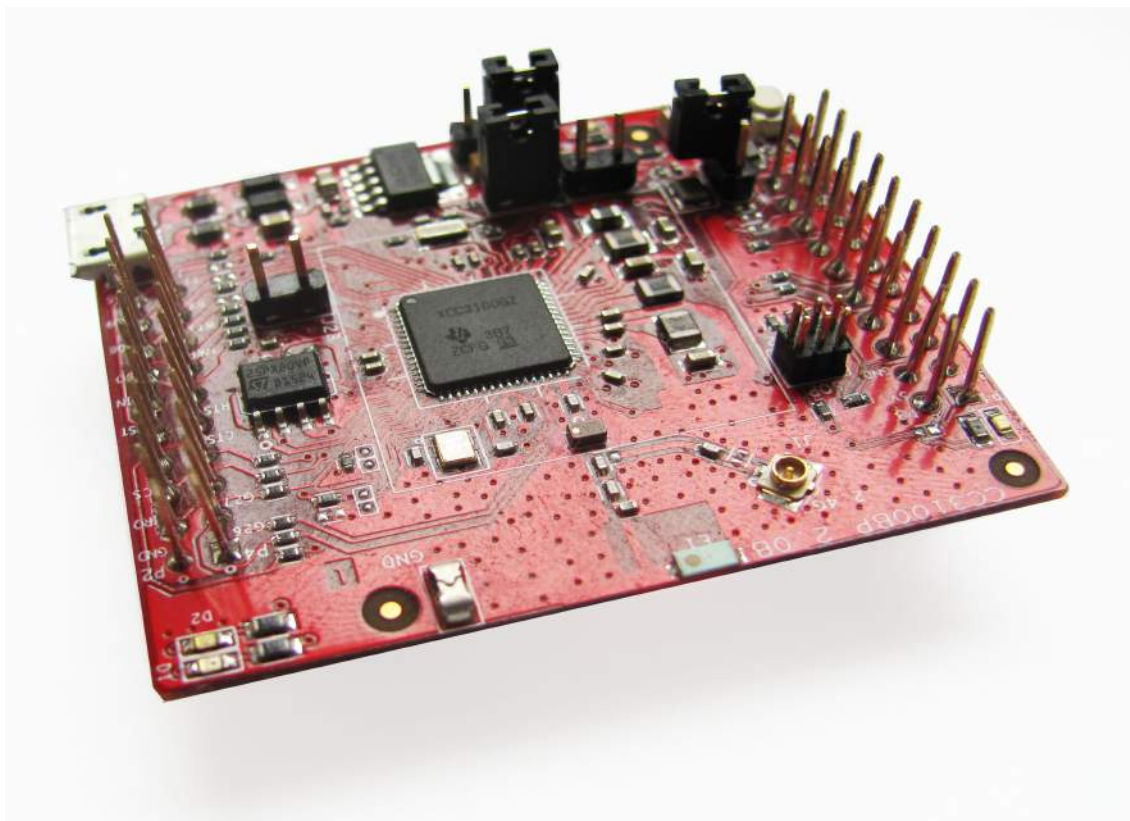
Obr. 12 - Blokové schéma gateway

Základními prvky gateway jsou mikroprocesor MSP430F5418, který slouží jako řídicí mikrokontrolér, a mikrokontrolér CC3100, který obstarává funkce spojené s bezdrátovým spojením přes Wi-Fi.

Jelikož byl v době vypracovávání této práce mikrokontrolér CC3100 v předprodejní fázi, měli jsme k dispozici pouze jeho vývojový kit, řešený jako modul. Výsledkem HW návrhu této práce je tedy gateway, která využívá tohoto modulárního řešení. Na samotné DPS gatewaye není osazen přímo MCU CC3100, k desce gatewaye je připojen celý vývojový kit pomocí dvou dvaceti pinových konektorů.

8.1 Wi-Fi modul Texas Instruments CC3100

Jelikož je tento produkt v předprodejní fázi, pracovali jsme s vývojovým kitem dodaným společností Texas Instruments obsahujícím nezbytné periferie pro chod zařízení.



Obr. 13 - Vybrané řešení – Texas Instruments CC3100

Zařízení CC3100 je určeno pro snadnou implementaci funkce bezdrátového připojení Wi-Fi pro různorodé aplikace. Jedná se o zařízení s nízkou cenou a také se vyznačuje velmi nízkými odběry proudu.

Zařízení podporuje standard Wi-Fi 802.11b/g/n. Podporuje všechny běžné druhy zabezpečení jak ve variantě osobní, tak podnikové. Mikrokontroler disponuje technologií Smart Config, díky které se zařízení dokáže připojit k Wi-Fi síti pomocí jediného kroku.

Zařízení má implementováno IPv4 zásobník s BSD API. Má vestavěny síťové protokoly ARP, ICMP, DHCP a také DNS klienta, což umožňuje snadné připojení do místní sítě a internetu.

Mikrokontroler CC3100 je single-chip řešení pro bezdrátovou síť určené k použití v embedded systémech s velmi velkým rozsahem napájecího napětí. Celkem podporuje tři módy napájení. Prvním z nich je napájení prostřednictvím baterie. Napětí baterie může být v rozsahu 2,3 V – 3,6 V. Napětí potřebná pro chod mikrokontroléru jsou generována interně prostřednictvím napěťových převodníků. Další možností je připojení mikrokontroléru na regulované napětí 3,3 V. Poslední možností je připojení zařízení na regulované napětí 1,8 V.

Zařízení disponuje dvěma módy pro nízký odběr proudu. Prvním z nich je Low-Power Deep Sleep (LPDS). Do tohoto stavu se mikrokontrolér dostává při delší neaktivitě hostujícího mikroprocesoru. Zařízení se pak může uvést do chodu do 10 ms prostřednictvím vnější události z interního časovače a z SPI. Důležité je, že přechody do tohoto stavu jsou pro hostující mikroprocesor zcela transparentní, tzn. nijak je nezaznamená a není třeba žádného obnovení komunikace.

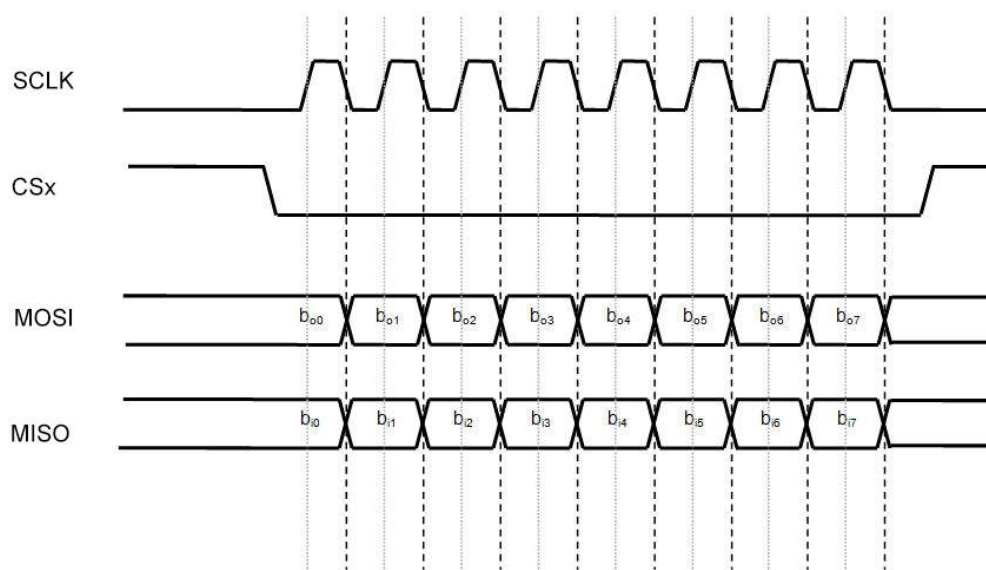
Druhým šetřícím módem je stav hibernace. Při tomto stavu je veškerá logika mikrokontroléru odpojena, kromě nutně potřebných obvodů. V zařízení běží hodiny reálného času a probuzení probíhá na základě vypršení časovače reálného času nebo na základě externí události. Čas potřebný pro probuzení je delší než u Low-Power Deep Sleep módu, a to asi 60 ms.

Odběry proudu zařízením jsou relativně malé. Dle dokumentace výrobce, při odesílání dat přes standard 802.11g se jedná typicky o 200 mA. Při příjmu pak 53 mA. Při módu LPDS zařízení vyžaduje 100 μ A, při hibernaci pak 4 μ A. [9]

8.1.1 Spojení s řídicím mikrokontrolérem

Řídicí mikrokontrolér je s modulem s čipem CC3100 spojen pomocí sériového rozhraní SPI. Komunikace SPI je typu master-slave a probíhá přes 4 vodiče. Hodinový signál SCLK je posílán masterem po sběrnici ke všem slave zařízením. Všechny signály sběrnice jsou synchronní s tímto signálem. Signál Chip Select (CS) je signál, kterým master vybírá, s kterým zařízením bude komunikovat. Dalšími dvěma signály jsou signály MOSI (Master Out – Slave In) a MISO (Master In – Slave Out), což jsou datové signály od zařízení master do zařízení slave (MOSI) resp. Od zařízení slave k zařízení master (MISO).

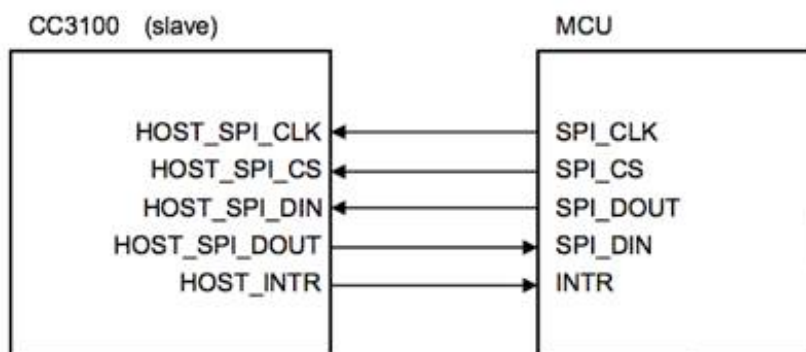
SPI je komunikační protokol typu single-master, tedy s jedním masterem na sběrnici. To znamená, že komunikaci iniciuje jedno centrální zařízení. Jakmile master zařízení potřebuje odeslat data některému ze slave zařízení nebo z něj data vyčíst, musí příslušné zařízení vybrat daným CS signálem (aktivní v 0) a aktivovat hodinový signál na sběrnici. Master posílá na vodič MOSI příslušná data a data z vodiče MISO vzorkuje v příslušných časech.



Obr. 14 - Příklad SPI komunikace

Protokol SPI nedefinuje maximální datovou propustnost, adresování zařízení, neobsahuje žádný mechanismus potvrzování příjmu. Master při implementaci základního protokolu neví, zda je nějaký slave na sběrnici připojen. Protokol SPI také nedefinuje napěťové úrovně signálu ani fyzickou vrstvu sběrnice. Z těchto důvodů existuje velmi mnoho variant implementace tohoto protokolu.

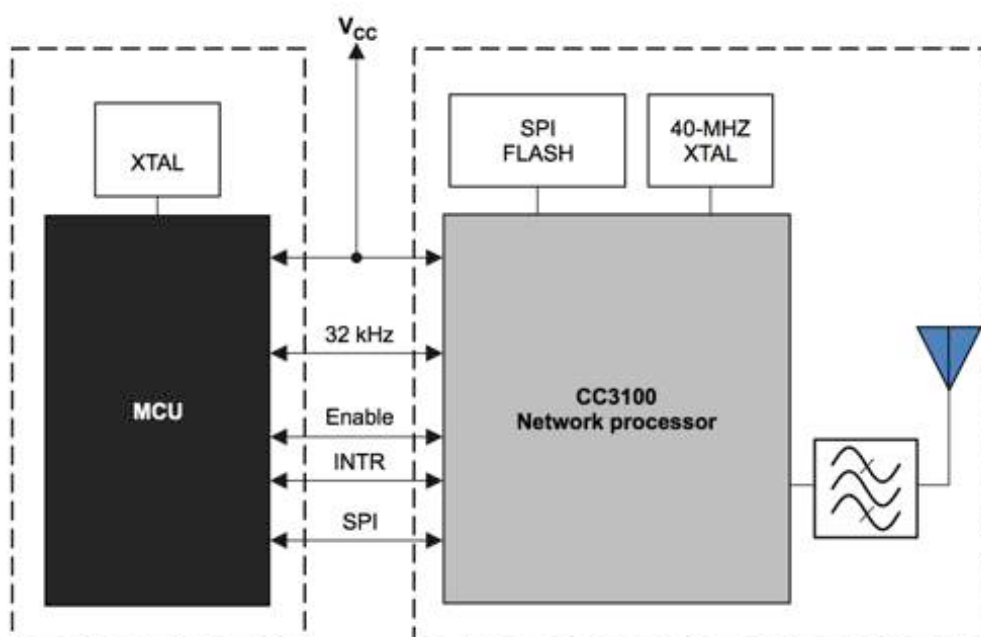
V našem případě je s řídicím mikrokontrolérem CC3100 propojen pomocí čtyřvodičového sériového rozhraní SPI. Navíc je spojen také signály IRQ a nHib. Signál IRQ slouží k vyvolání přerušení od řídicího MCU a signál nHib slouží k uvedení CC3100 do stavu hibernace resp. k jeho probuzení. Ve stavu hibernace má CC3100 velmi nízký odběr proudu, udáváno je méně než $4 \mu A$.



Obr. 15- Blokové schéma spojení s řídicím MCU

Tab. 3 - Seznam signálových vodičů SPI k řídicímu mikrokontroléru

Název pinu	Popis
HOST_SPI_CLK	Hodiny z říd. MCU do CC3100
HOST_SPI_CS	Chip Select (aktivní v 0) z říd. MCU do CC3100
HOST_SPI_DIN	Data z říd. MCU do CC3100
HOST_SPI_DOUT	Data z CC3100 do říd. MCU
HOST_INTR	Přerušení z CC3100 do říd. MCU



Obr. 16- Blokové schéma připojení CC3100 k řídicímu MCU

Na DPS je připojení celého vývojového kitu řešeno pomocí dvou dvaceti pinových konektorů. Rozložení jednotlivých signálů je uvedeno v Tab. 4 a Tab. 5. [9][10]

Tab. 4 - Popis vnějších pinů konektorů CC3100

Pin	Název	Směr
P1.1	VCC (3,3V)	vstup
P1.2	-	-
P1.3	UART_TX	výstup
P1.4	UART_RX	
P1.5	nHib	vstup

Pin	Název	Směr
P2.1	GND	vstup
P2.2	IRQ	výstup
P2.3	SPI_CS	vstup
P2.4	-	-
P2.5	nRESET	vstup

P1.6	-	-
P1.7	SPI_CLK	vstup
P1.8	-	-
P1.9	-	-
P1.10	-	-

P2.6	SPI_MOSI	vstup
P2.7	SPI_MISO	výstup
P2.8	-	-
P2.9	-	-
P2.10	-	-

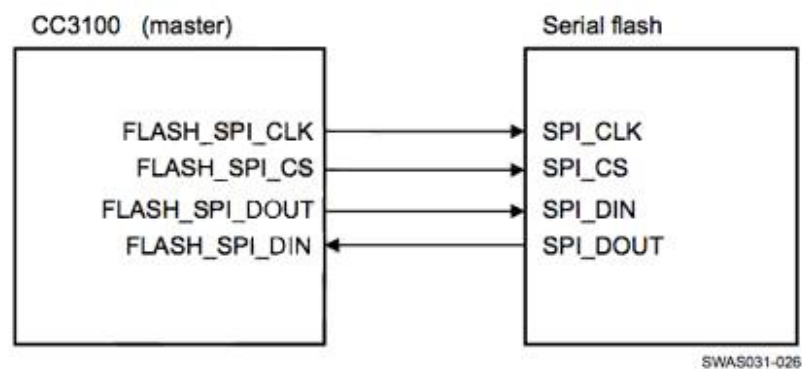
Tab. 5 - Popis vnitřních pinů konektorů CC3100

Pin	Název	Směr
P3.1	+5V	vstup
P3.2	GND	vstup
P3.3	-	-
P3.4	-	-
P3.5	-	-
P3.6	-	-
P3.7	-	-
P3.8	-	-
P3.9	-	-
P3.10	-	-

Pin	Název	Směr
P4.1	ANT_SEL_1	výstup
P4.2	ANT_SEL_2	výstup
P4.3	-	vstup
P4.4	UART_CTS	vstup
P4.5	UART_RTS	výstup
P4.6	-	vstup
P4.7	NWP_LOG_TX	výstup
P4.8	WLAN_LOG_TX	výstup
P4.9	WL_RS232_RX	vstup
P4.10	WL_R232_TX	výstup

8.1.2 Spojení s pamětí flash

Ke správnému chodu potřebuje CC3100 připojenou 2Mb sériovou flash paměť, ve které je uložena síťová konfigurace a firmware čipu. V tomto případě je CC3100 v roli slave. [9]



Obr. 17 - Blokové schéma připojení flash paměti

Tab. 6 - Seznam signálových vodičů SPI k sériové flash paměti

Název pinu	Popis
FLASH_SPI_CLK	Hodiny z CC3100
FLASH_SPI_CS	Chip Select (aktivní v 0) z CC3100 k flash paměti
FLASH_SPI_DIN	Data z flash paměti do CC3100
FLASH_SPI_DOUT	Data z CC3100 do flash paměti

8.2 Řídicí mikrokontrolér

Jako řídicí mikrokontrolér je v návrhu použit procesor společnosti Texas Instruments MSP430F5418. Jedná se o MCU s velmi malým odběrem proudu, napájený napětím 3,3 V DC. Mikroprocesor má za úkol přeposílat data přijatá z řídicí jednotky ohřívače vody prostřednictvím sériového rozhraní UART pomocí Wi-Fi modulu C3100 do sítě internet prostřednictvím Wi-Fi.

Mikrokontroler MSP430F5418 obsahuje tři 16 bitové časovače a 12 bitový převodník. Podporuje až 4 univerzální sériová komunikační rozhraní, obsahuje hardwarovou násobičku, DMA, hodiny reálného času a 67 vstupů/výstupů. Disponuje 128 KB flash paměti a 16 KB SRAM.

Programování mikrokontroléru provádíme pomocí rozhraní Spy-Bi-Wire. Toto rozhraní má oproti standardnímu rozhraní JTAG výhodu využití pouze dvou vodičů. [10][11]

Tab. 7 - Popis vodičů rozhraní Spy-Bi-Wire

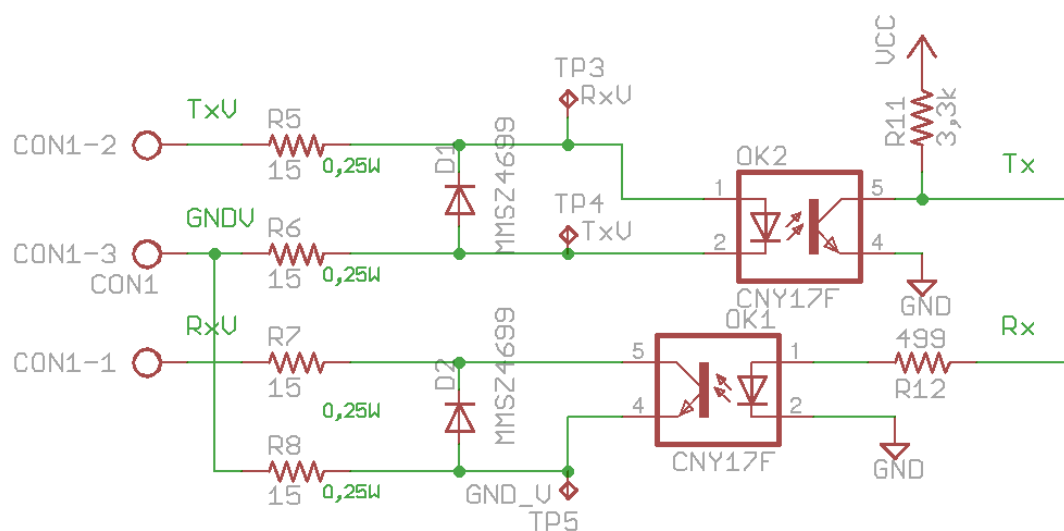
Signál	Směr	Funkce
TEST/SBWTCK	vstup	hodiny Spy-Bi-Wire
RST/NMI/SBWTDIO	vstup, výstup	Spy-Bi-Wire data input/output
VCC		napájení 3,3V
VSS		země (GND)

8.2.1 Galvanické oddělení rozhraní UART

Pro spojení gateway s řídicí jednotkou ohříváče je využito sériové rozhraní UART. Ke komunikaci jsou třeba tři vodiče – vysílací Tx, přijímací Rx a země GND.

Spojení je galvanicky odděleno pomocí optočlenů CNY17F. Jsou zde také zapojeny Zenerovy diody pro ochranu před elektrostatickými výboji.

Pro připojení UART je v našem případě využíváno USCI modulu UCA1 mikrokontroléru.

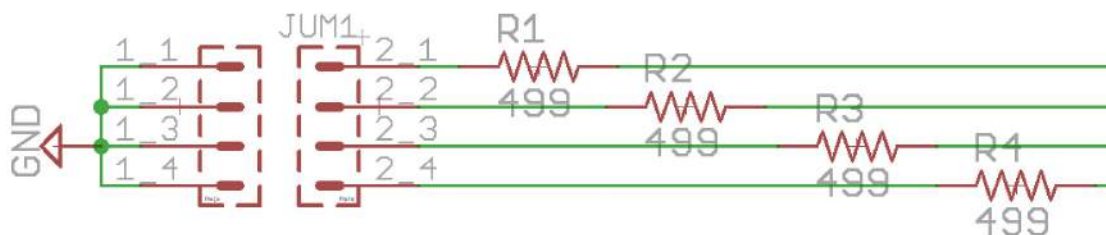


Obr. 18 - Připojení UART

8.3 Podpůrné obvody gatewaye

Jako generátor hodin pro řídicí mikrokontrolér MSP430F5418 byl vybrán rezonátor EFOS8004E5 o frekvenci 8 MHz. Jedná se o keramický rezonátor s vestavěnými kapacitami.

Na desce jsou také vyvedeny 4 vstupní piny řídicího mikrokontroléru přivedené na jumper JUM1. Druhá část jumperu JUM1 je spojena se zemí. Tyto jumpery jsou určeny pro použití jako hardwarové přepínače.



Obr. 19 - Jumpery sloužící jako hardwarové přepínače

Další součástí schématu je programovací konektor Spy-Bi-Wire. Ten obsahuje signály TEST, RST, zemi a napájení VCC. Slouží pro programování řídicího mikrokontroléru MSP430.

Signály SPI komunikace mezi MSP430 a CC3100 jsou vyvedeny na konektor JUM2. Tento konektor slouží pro snadný přístup k signálům k účelu diagnostiky funkčnosti zařízení.

Na vstupech řídicího MCU, na které je přivedeno napájecí napětí VCC, jsou umístěny blokovací kondenzátory o kapacitě 0,1 μ F.

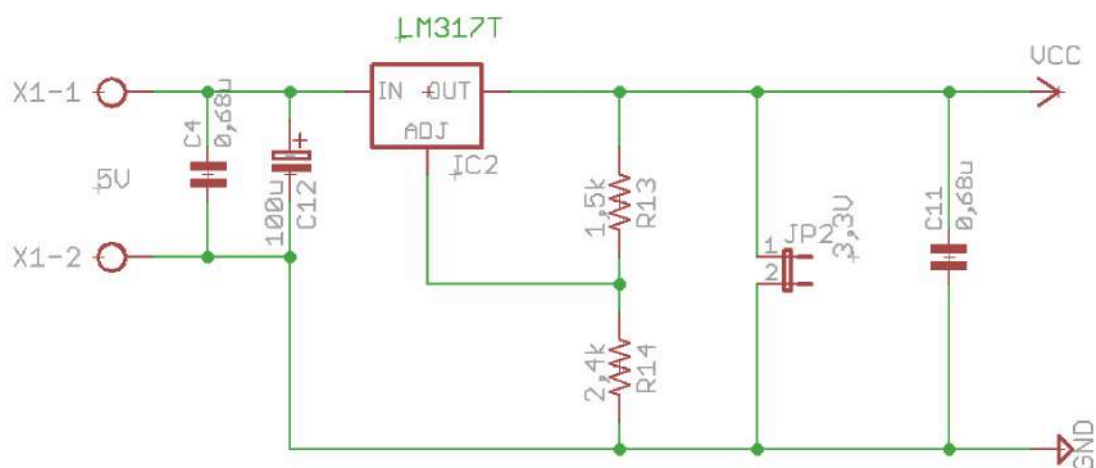
8.4 Napájecí obvody gatewaye

Pro napájení gatewaye je třeba stejnosměrného napětí 3,3 V. Zdroj tohoto napětí je řešen pomocí zapojení nastavitelného lineárního stabilizátoru LM317T. Maximální výstupní proud tohoto stabilizátoru je 1,5 A, což je pro naše potřeby plně dostačující. Na vstup stabilizátoru je přivedeno vstupní napětí 5 V ze síťového adaptéru. Výstupní napětí je nastaveno pomocí dvou rezistorů. Výstupní napětí je určeno vzorcem

$$V_O = V_{REF}(1 + R_2/R_1) + I_{ADJ}R_2. \quad (1)$$

Proud I_{ADJ} můžeme dle datasheetu stabilizátoru za normálních podmínek považovat za nulový. Napětí $V_{REF} = 1,25 \text{ V}$. Zvolíme-li $R_1 = 1,5 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 2,4 \text{ k}\Omega$ získáme po dosažení výstupní napětí $V_O = 3,25 \text{ V}$. Tímto napětím je napájen jak řídicí mikrokontrolér MSP430, tak Wi-Fi modul CC3100. [12]

Na vstupu stabilizátoru je umístěn elektrolytický kondenzátor C4, který slouží k udržení vyššího napětí na vstupu než na výstupu stabilizátoru při odpojení napájení.



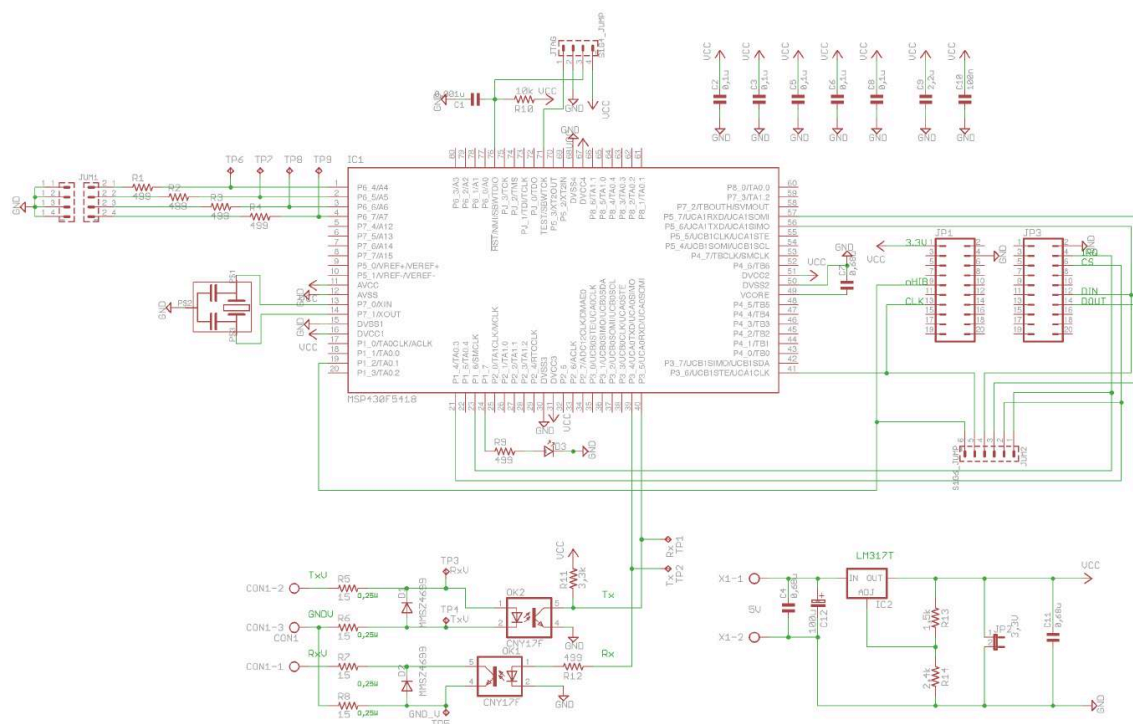
Obr. 20 - Napájecí obvod gatewaye

9 NÁVRH DPS A MECHANICKÁ KONSTRUKCE GATEWAYE

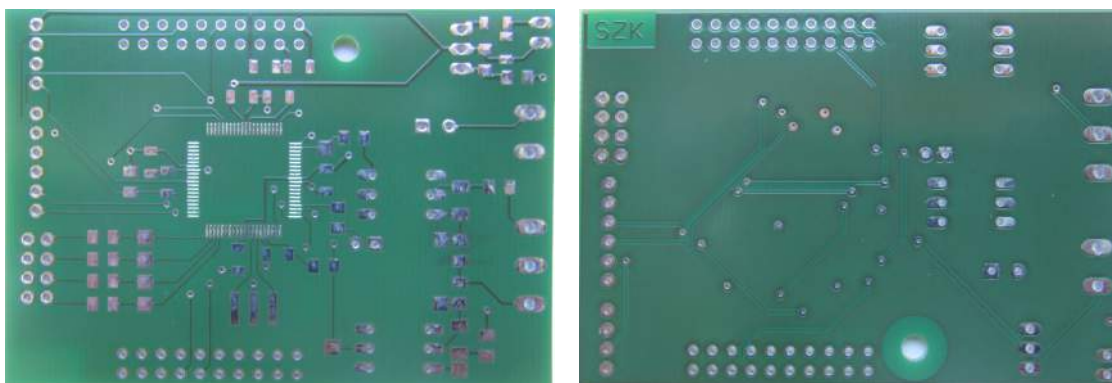
Kapitola popisuje výslednou gateway o jejímž návrhu tato diplomová práce pojednává. Je zde uvedeno celkové schéma gatewaye a také návrh DPS.

Jednotlivé součásti gatewaye uvedené v předchozí kapitole jsme umístili na desku plošných spojů. Deska je řešena jako dvouvrstvá, prokovená. Tloušťka desky je 1,5 mm, síla měděné vrstvy je 18 μm . Rozměry DPS jsou 7 \times 5 cm. Rozložení součástek je řešeno s ohledem na optimálnost trasování jednotlivých cest. Návrh dodržuje základní požadavky, jako je izolační vzdálenost spojů či minimální tloušťka spojů.

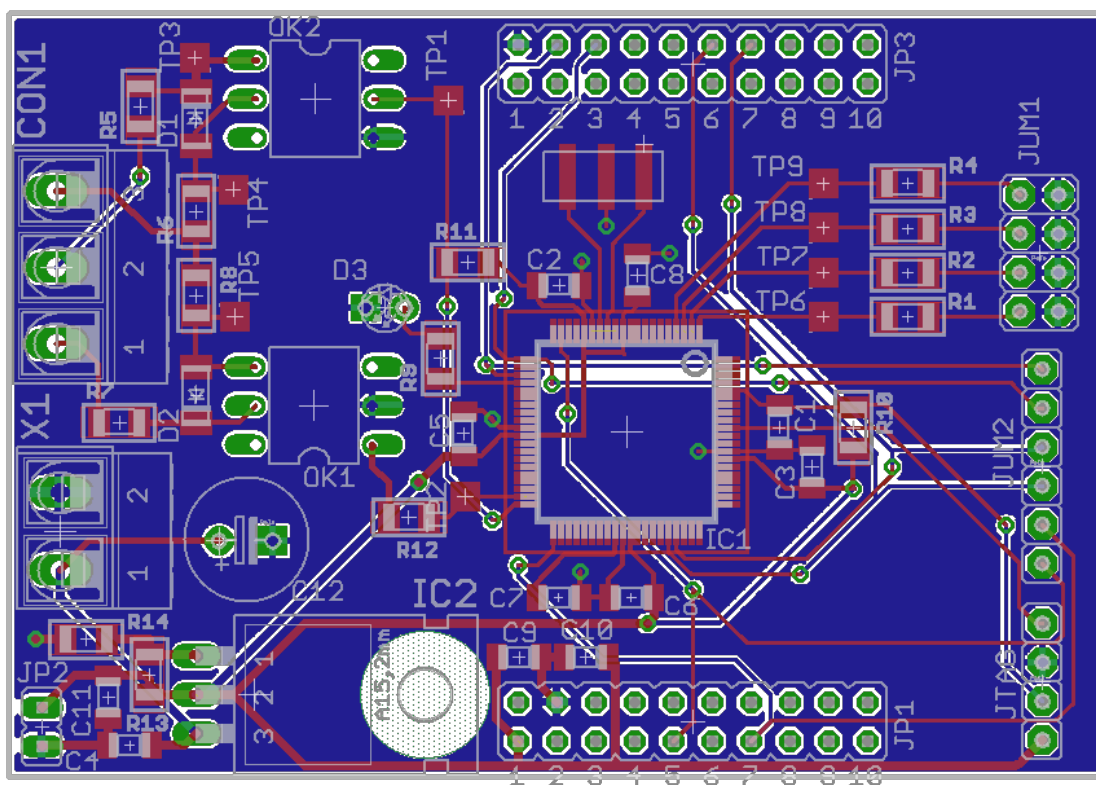
Největší odběr proudu na DPS má připojený WI-FI mikrokontrolér CC3100, a to cca 200 mA v režimu vysílání. Řídicí mikrokontrolér má spotřebu v řádech miliampérů. Síla cest napájení byla volena jako 0,508 mm, což odpovídá dovolenému proudovému zatížení 900 mA. Signálové cesty mají tloušťku 0,2 mm, což odpovídá proudovému zatížení 500 mA. Cesty jsou tedy naddimenzované a odpovídají požadavkům gatewaye.



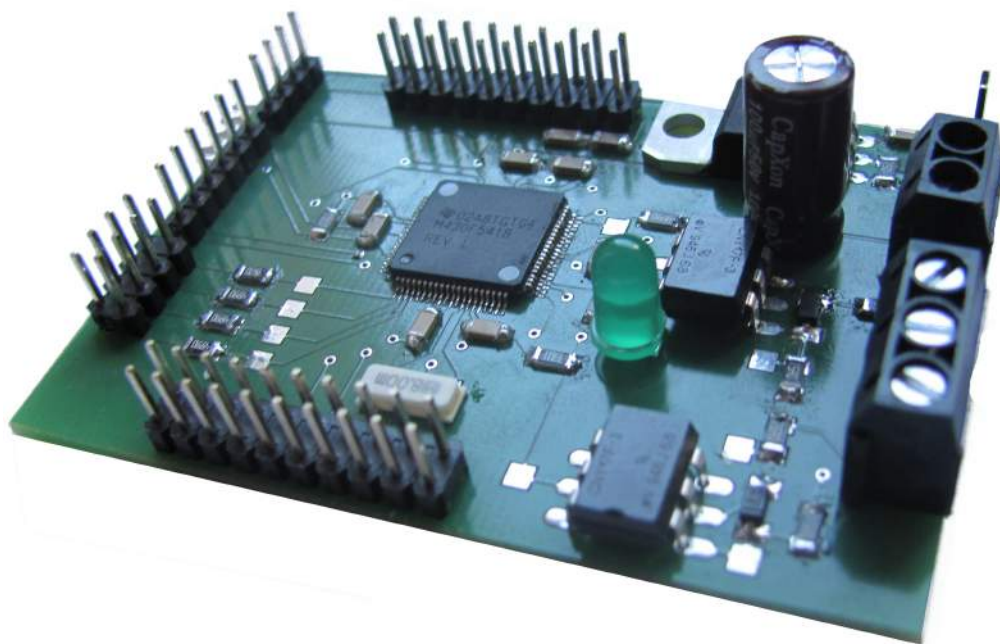
Obr. 21 - Celkové schéma zapojení gatewaye



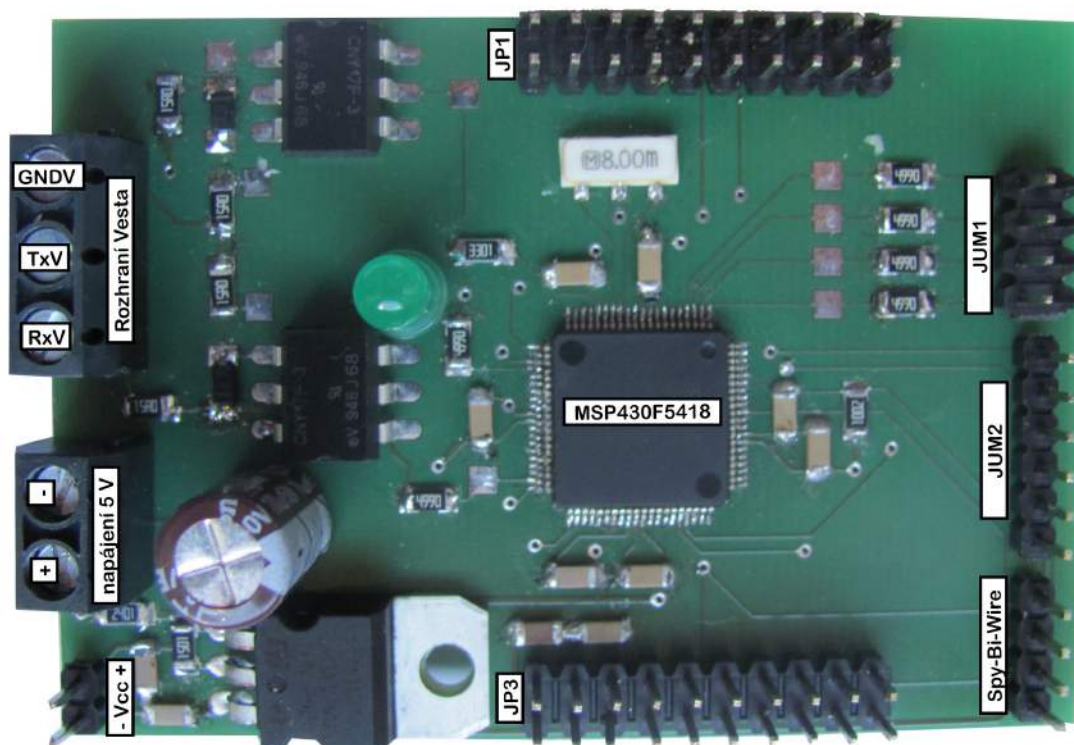
Obr. 22 - Vyrobená DPS - vrstva TOP, vrstva BOTTOM



Obr. 23 - Návrh DPS gatewaye



Obr. 24 - Osazená DPS



Obr. 25 – Popis součástí gatewaye

10 SOFTWARE GATEWAYE

K dispozici máme software nevyhovujícího prototypu gatewaye. Celá aplikace běží na pro tuto aplikaci navrženém operačním systému a ve funkci main programu jsou vytvořeny čtyři paralelní úlohy.

- *WiFiDriverProcess*
- *VestaDriverProcess*
- *VestaLoggerProcess*
- *WifiApplication*

Jelikož je v naší gateway použit stejný řídicí mikrokontrolér jako v původním návrhu, procesy *VestaDriverProcess* a *VestaLoggerProcess* je možné převzít z původních zdrojových kódů. V námi navrhované gateway bude stačit nahradit procesy *WiFiDriverProcess* a *WifiApplication* vlastními, které budou komunikovat s naším Wi-Fi mikrokontrolérem CC3100.

Proces *WiFiDriverProcess* v pravidelných intervalech kontroluje aktuální stav Wi-Fi zařízení. Jakmile je nastaven stav *WIFI_WAIT_FOR_RESULT*, je volána funkce pro zpracování dat ze sériového rozhraní.

Proces *VestaDriverProcess* obsluhuje odesílání dat přes Vesta protokol z naší gateway do řídicí jednotky ohřívače vody.

Proces *VestaLoggerProcess* vytváří v pravidelných intervalech reporty o stavu ohřívací jednotky a ukládá je do bufferu aplikace.

Poslední proces *WifiApplication* obsahuje funkce potřebné pro správný chod zařízení *ConnectOne*. Jedná se o jednotlivé kroky nastavení a vytvoření spojení se vzdáleným serverem. Také je zde napsán kód pro inicializaci celého zařízení, tj. vytvoření přístupového bodu a zadání konfigurace sítě, ke které se má po restartu zařízení připojit.

10.1 Software pro komunikaci s CC3100

Jak už bylo zmíněno v předchozích kapitolách, CC3100 využívá platformy *SimpleLink*, která se vyznačuje snadnou implementací komunikačního protokolu. Tato platforma minimalizuje softwarové nároky na řídicí mikrokontrolér. CC3100 může být aplikován jako modul, čímž se redukuje čas vývoje a jeho náklady, šetří místo na DPS. Také usnadňuje certifikaci výsledného zařízení. Spolu se zařízením jsou také k dispozici ovladače a ukázkové aplikace.

SimpleLink je proprietární platforma firmy Texas Instrument. V nabídce jsou bezdrátové mikrokontroléry a systémy na čipu (SOC) s integrovanými MCU a

radiovémi vysílači a dalšími prvky. Kromě námi využívaného Wi-Fi podporuje tato platforma rovněž protokoly 6LoWPAN, Bluetooth a ZigBee. [13][14]

Zdrojové soubory, které jsou pro správnou funkčnost třeba, jsou obsaženy v SDK, dodávaném spolu s Wi-Fi mikrokontrolérem CC3100. Soubor `template_user.h` slouží jako šablona. Před použitím je nutné jej upravit dle potřeb aplikace.

Ovladač platformy SimpleLink podporuje dva různé paměťové modely. Pokud bychom se chtěli rozhodnout pro dynamický paměťový model, je třeba definovat funkce pro alokaci a uvolnění paměti. Dále se budeme zabývat modelem se statickou pamětí. Je také nutné nadefinovat obsluhu přerušení pro asynchronní události.

Dále je třeba upravit soubory `board.c` a `spi.c`. Soubor `board.c` obsahuje obsluhu přerušení od pinu IRQ CC3100, funkci na inicializaci hodin a další funkce související s deskou řídicího mikrokontroléru.

Soubor `spi.c` obsahuje definici funkcí, které je třeba upravit dle konkrétního řešení připojení sériového rozhraní SPI CC3100 k řídicímu mikrokontroléru. Jedná se o funkce `CC3100_enable()`, `CC3100_disable()`, `spi_Open()`, `spi_Close()`, `spi_Write()` a `spi_Read()`.

Nyní si jednotlivé funkce krátce popíšeme.

10.2 Funkce pro ovládání hibernace

Funkce `CC3100_enable()` a `CC3100_disable()` ovládají signál `nHib`, který slouží pro probuzení z hibernačního režimu, resp. uvedení do hibernace.

```
void CC3100_enable()
{
    P1OUT |= BIT2;
}

void CC3100_disable()
{
    P1OUT &= ~BIT2;
}
```

10.3 Funkce pro inicializaci rozhraní SPI

Pro inicializaci rozhraní SPI slouží funkce `spi_Open()`.

```
Fd_t spi_Open(char *ifName, unsigned long flags)
{
    // **Hold reset**
    UCA1CTL1 |= UCSWRST;
```

```

// Select the SPI lines: MISO/MOSI on P5.6,7 CLK
on P3.6
P5SEL |= (BIT6 + BIT7);
P5OUT |= BIT7;
P5REN |= BIT7;
P5DIR |= BIT7;

P3SEL |= (BIT6);

//Initialize all USCI registers
UCA1CTL0 = UCMSB + UCMST + UCSYNC + UCCKPH
UCA1CTL1 = UCSWRST + UCSSEL_2;

UCA1BR0 = 0x05;
UCA1BR1 = 0;

UCA1CTL1 &= ~UCSWRST;

// nHib
P1DIR |= BIT2;
P1SEL &= ~BIT2;
P1OUT &= ~BIT2;

// Configure SPI IRQ line on P1.6
P1DIR &= (~BIT6);
P1SEL &= ~BIT6;
P1REN |= BIT6;

// Configure the SPI CS to be on P1.4
P1OUT |= BIT4;
P1DIR |= BIT4;
P1SEL &= ~BIT4;

// Enable interrupt on the GPIOA pin of CC3100
IRQ
CC3100_InterruptEnable();

return NONOS_RET_OK;
}

```

Funkce obstarává konfiguraci USCI rozhraní UCA1 mikrokontroléru MSP430F5418. PO dobu konfigurace je UCA1 drženo v resetu. Pro signály MISO a MOSI jsou nakonfigurovány piny 6 a 7 portu 5 mikrokontroléru. Pro signál hodin je použit pin 6 portu 3. Poté jsou inicializovány řídicí registry rozhraní UCA1CTL0 a UCA1CTL1. Pomocí těchto registrů rozhraní konfigurujeme jako třívodičové SPI, pořadí bitů

nejdříve MSB, 8 bitová komunikace. Dále nastavujeme přenosovou rychlost přenosu. Po dokončení konfigurace je uvolněn reset rozhraní.

V další části kódu je nastaven pin 2 portu 1 pro funkci přepínání mezi módem hibernace a pin 6 portu 1 pro přerušení od CC3100. Nastaven je také pin 4 portu 1 pro funkci Chip Selectu (CS).

Nakonec je povoleno přerušení od CC3100.

10.4 Funkce pro uzavření rozhraní SPI

Pro uzavření rozhraní je využívána funkce `spi_Close()`.

```
int spi_Close(Fd_t fd)
{
    CC3100_InterruptDisable();

    return 0;
}
```

Tato funkce pouze zakazuje přerušení od CC3100 a tím se celé rozhraní stává nečinným.

10.5 Funkce pro zápis na rozhraní SPI

Funkce pro zápis na rozhraní je nazvána `spi_Write()`.

```
int spi_Write(Fd_t fd, unsigned char *pBuff, int len)
{
    int len_to_return = len;

    ASSERT_CS();
    // Fix for opening socket in AP
    __delay_cycles(2400);
    while (len)
    {
        while (!(UCA1IFG&UCTXIFG));
        UCA1TXBUF = *pBuff;
        while (!(UCA1IFG&UCRXIFG));
        UCA1RXBUF;
        len--;
        pBuff++;
    }
    DEASSERT_CS();

    return len_to_return;
}
```

```
}
```

Nejprve je třeba aktivovat signál CS mikrokontroléru CC3100 a poté je pomocí smyčky odeslán celý buffer, který je zadán jako parametr při volání funkce. Nakonec dochází k deaktivaci signálu CS.

10.6 Funkce pro čtení z rozhraní SPI

Pro čtení z rozhraní slouží funkce `spi_Read()`.

```
int spi_Read(Fd_t fd, unsigned char *pBuff, int len)
{
    int i = 0;

    ASSERT_CS();

    for (i = 0; i < len; i++)
    {
        while (!(UCA1IFG&UCTXIFG));
        UCA1TXBUF = 0xFF;
        while (!(UCA1IFG&UCRXIFG));
        pBuff[i] = UCA1RXBUF;
    }

    DEASSERT_CS();

    return len;
}
```

Funkce `spi_read()` pracuje obdobně jako funkce pro zápis. Nejprve je aktivován signál CS. Poté dochází k vyčítání dat z bufferu rozhraní do bufferu uvedeného jako parametr funkce při jejím volání. Nakonec je deaktivován signál CS.

Jakmile jsou definovány výše zmíněné funkce, řídicí mikrokontrolér a Wi-Fi mikrokontrolér jsou schopny mezi sebou komunikovat. Pro inicializaci modulu CC3100 je třeba zavolat funkci `sl_Start()`. Touto funkcí je ověřena funkčnost rozhraní a po vykonání funkce je zařízení připraveno k provozu.

K připojení Wi-Fi mikrokontroleru k požadované síti slouží funkce `sl_WlanConnect()`. Jako parametr této funkce je zadán název SSID přístupového bodu, kterému se má zařízení připojit, a struktura obsahující informace o zabezpečení sítě, včetně klíče k přístupu do sítě v případě chráněné sítě. Po vykonání této funkce má zařízení přidělenou IP adresu a je připraveno komunikovat.

Pro naši aplikaci je třeba založit TCP spojení se vzdáleným serverem a data přijatá od řídicí jednotky ohříváče vody přeposílat na tento server.

Během práce na návrhu gatewaye došlo ke zdržení vývoje Wi-Fi mikrokontroléru CC3100 společnosti Texas Instruments a dostupný vývojový kit se projevoval problematickou funkčností. Tento vývojový kit je v předprodejní zkušební fázi. Z výše uvedených důvodů nebylo možné program pro spojení se vzdáleným serverem prostřednictvím CC3100 naprogramovat a ověřit jeho funkčnost. Proto je součástí této práce pouze příklad řešení této problematiky vyplývající z teoretického nastudování dostupných písemných materiálů.

```
int Send_TcpClient(UINT16 Port, char buffer[BUF_SIZE])
{
    SlSockAddrIn_t  Addr;
    Int  AddrSize;
    Int  SockID;
    Int  Status;

    Addr.sin_family = SL_AF_INET;
    Addr.sin_port = UINT16)Port;
    Addr.sin_addr.s_addr = (UINT32)IP_ADDR;
    AddrSize = sizeof(SlSockAddrIn_t);

    SockID = sl_Socket(SL_AF_INET,SL_SOCKET_STREAM, 0);
    if( SockID < 0 )
    {
        /* error */
        return -1;
    }

    Status=sl_Connect(SockID,(SlSockAddr_t*)&Addr, AddrSize);

    if( Status < 0 )
    {
        /* error */
        return -1;
    }

    Status = sl_Send(SockID, buffer, BUF_SIZE, 0 );
    if( Status <= 0 )
    {
        /* error */
        return -1;
    }
}
```



```
    sl_Close(SockID);  
  
    return 0;  
}
```

Funkce je volána s parametrem Port, který představuje port, otevřený na vzdáleném serveru, a parametrem buffer, což je proměnná obsahující data k odeslání.

Po definici nezbytných proměnných je do struktury Addr nastavena rodina adres. Tu je nutné v případě TCP protokolu nastavit na SL_AF_INET. Dále je nastaven port, který je převzat z parametru funkce. V další části funkce vytvoříme soket voláním funkce sl_Socket(). Poté již provedeme samotné připojení ke vzdálenému serveru pomocí funkce sl_Connect(). Nakonec odešleme data, která má máme uložena v bufferu pomocí funkce sl_Send() a po odeslání uzavřeme soket pomocí funkce sl_Close(). Tím jsou data odeslána na vzdálený server.

11 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout bezpečnou gateway pro připojení řídicí jednotky do cloudu pomocí bezdrátové sítě Wi-Fi.

Gateway řeší propojení řídicí jednotky ohřívače vody, která disponuje výstupem ve formě sériového rozhraní UART, a vzdáleného serveru společnosti. Přes rozhraní jsou odesílána aktuální data jako je např. aktuální teplota vody.

V úvodu práce je popsána problematika propojení řetězce ohřívač vody – vzdálený server. Je zde popsána řídicí jednotka ohřívače vody i v současnosti v praxi používaný nástroj Vesta Serial Adapter, ze kterého návrh gatewaye vychází.

Dále bylo přiblíženo současné nevyhovující řešení ve formě funkčního prototypu. Tento prototyp nevyhovuje zejména z hlediska nákladů a úkolem této práce bylo nalezení vhodné alternativy.

Před samotným návrhem gatewaye jsme si stanovili požadavky, které musí výsledný produkt splňovat. Vybráno bylo řešení ve formě spojení řídicího mikrokontroléru MSP430F5418, stejně jako v současném nevyhovujícím prototypu, a Wi-Fi modulu. Tento modul by doplňoval funkce řídicího mikrokontroléru o potřebnou Wi-Fi konektivitu.

Na základě těchto požadavků byly vybrány produkty dostupné na současném trhu. Pro realizaci byl po zvážení všech možností vybrán Wi-Fi modul společnosti Texas Instruments CC3100. Tento produkt byl vybrán především na základě nízkých pořizovacích nákladů. Svou roli také hrál výrobce firma Texas Instruments, která je také výrobcem řídicího mikrokontroléru gatewaye. Tím je zajištěna bezproblémová kompatibilita obou mikrokontrolérů a také podpora ze strany společnosti. Tento produkt je prozatím v předprodejní fázi a k dispozici jsou pouze neoficiální vývojové kity s prototypovými verzemi Wi-Fi mikrokontrolérů. Z tohoto důvodu bylo vybráno řešení gatewaye jako funkčního prototypu, ke kterému se připojuje vývojový kit pomocí dvou dvacetipinových konektorů.

V další části práce byl popsán vybraný Wi-Fi modul CC3100 a jeho spojení s řídicím mikrokontrolérem pomocí sériového rozhraní SPI. Dále byl představen řídicí mikrokontrolér MSP430F5418 a také byly řešeny další podpůrné a napájecí obvody gatewaye.

Na základě uvedeného konceptu byla navržena a vyrobena deska plošných spojů, která odpovídá diskutovanému návrhu. Jedná se tedy o DPS s osazeným řídicím mikrokontrolérem MSP430 a na tuto desku je pomocí konektorů připojen vývojový kit Wi-Fi mikrokontroléru CC3100.

V poslední části práce byl popsán vývoj softwaru celé řídicí jednotky. Jelikož je použit stejný řídicí mikrokontrolér jako v případě nástroje jako v již funkčním prototypu, bylo možné část, která se týká sériového rozhraní UART převzít z původního

programu. Dále jsme provedli portování funkcí sériového rozhraní SPI pro naši aplikaci a ověřili komunikaci mezi řídicím mikrokontrolérem a Wi-Fi mikrokontrolérem CC3100.

Během vypracovávání práce jsme se potýkali s problémem pozdější dostupnosti vývojového kitu Wi-Fi mikrokontroléru CC3100 a jeho špatného odladění funkčnosti. Tyto problémy vychází z toho, že tento produkt je prozatím pouze v předprodejní testovací verzi a oficiálně ještě není nabízen.

Z výše uvedených důvodů jsme nebyli schopni software gatewaye naprogramovat a otestovat. Gateway je připravena pro implementaci platformy SimpleLink a naprogramování přeposílání dat pomocí TCP spojení.

LITERATURA

- [1] HONEYWELL HTS. WV8860: Electronic Storage Water Heater Control. Interní dokumentace firmy, Brno, 2010.
- [2] IEEE 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. New York, NY: IEEE Computer Society, 2012. Dostupné z: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>
- [3] USI WM-N-BM-09. Universal Scientific Industrial (Shanghai) Co., Ltd [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: http://www.usish.com/english/products_wiced.php
- [4] MURATA. Type VK – WiFi Module: Product Brief. Dostupné z: http://www.murata-ws.com/datastore/media/wifi_bg_brief.pdf
- [5] MURATA. SN8200 Wi-Fi Network Controller Module: User Manual And Datasheet. 2012. Dostupné z: http://www.murata-ws.com/datastore/media/wifi_sn8200_ds.pdf
- [6] MICROCHIP. MRF24WG0MA/MB: Data Sheet. 2012. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70686B.pdf>
- [7] MICROCHIP. RN-131G & RN-131C 802.11 b/g Wireless LAN Module: Data Sheet. 2012. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/rn-131-ds-v3.2r.pdf>
- [8] RTX. RTX4100 Wi-Fi Module: Datasheet DS1. 2013. Dostupné z: http://www.rtx.dk/Files/Billeder/RTX_T/RTX411%20Documentation/RTX4100_Datasheet_DS1.pdf
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. TI CC3100R: SimpleLink Single-Chip 802.11bgn Networking Solution Product Preview. 2013.
- [10] TEXAS INSTRUMENTS. MSP430F5418: Mixed signal microcontroller datasheet. 2009. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f5418.pdf>
- [11] TEXAS INSTRUMENTS. MSP430x5xx and MSP430x6xx Family: User's Guide. 2008. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/slau208m/slau208m.pdf>
- [12] STMICROELECTRONICS. LM217, LM317: 1.2 V to 37 V adjustable voltage regulators datasheet. 2014. Dostupné z:

<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000455.pdf>

- [13] TEXAS INSTRUMENTS. CC3100 SimpleLink Single-Chip 802.11bgn Networking Solution: Software Development Kit v0.3 Release Notes. 2013.
- [14] TEXAS INSTRUMENTS. CC3100 SimpleLink Single-Chip 802.11bgn Networking Solution: CC3100 Quick Start Guide. 2013.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

DPS	Deska plošných spojů
FCC	Federal Communications Commission (Federální komise pro komunikaci)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Evropský ústav pro telekomunikační normy)
RoHS	Směrnice EU „Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment.“
WEP	Wired Equivalent Privacy (Soukromí ekvivalentní drátovým sítím)
WPA	Wi-Fi Protected Access (Chráněný přístup k Wi-Fi)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Obsah přiloženého CD

Příloha 2. Celkové schéma zapojení gateway

Příloha 3. DPS – soupis použitých součástek

Příloha 4. DPS – vrstva TOP

Příloha 5. DPS – vrstva BOTTOM

Příloha 1. Obsah přiloženého CD

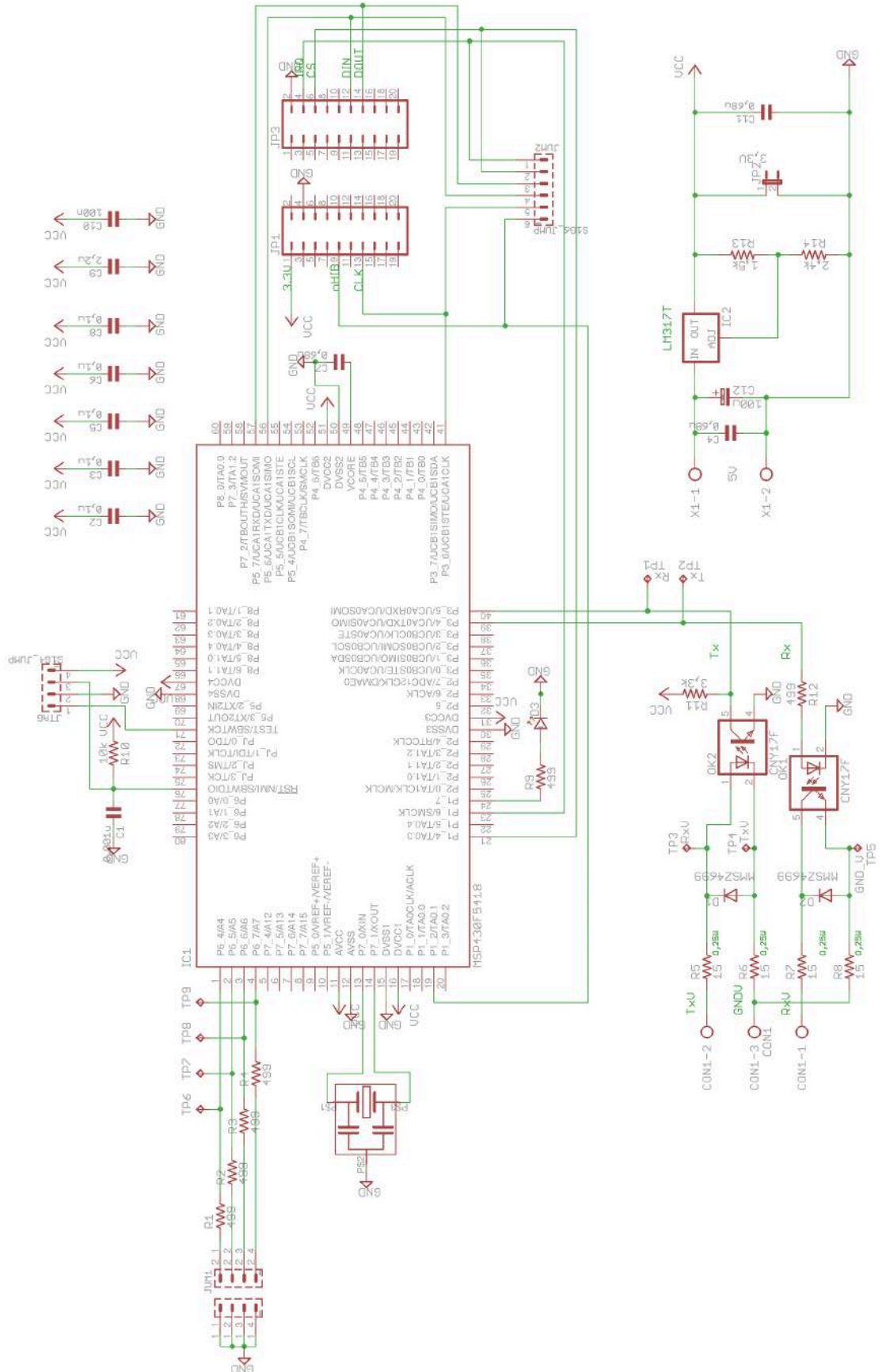
Elektronická verze práce

Schéma a návrh DPS

Datasheety

Zdrojové kódy

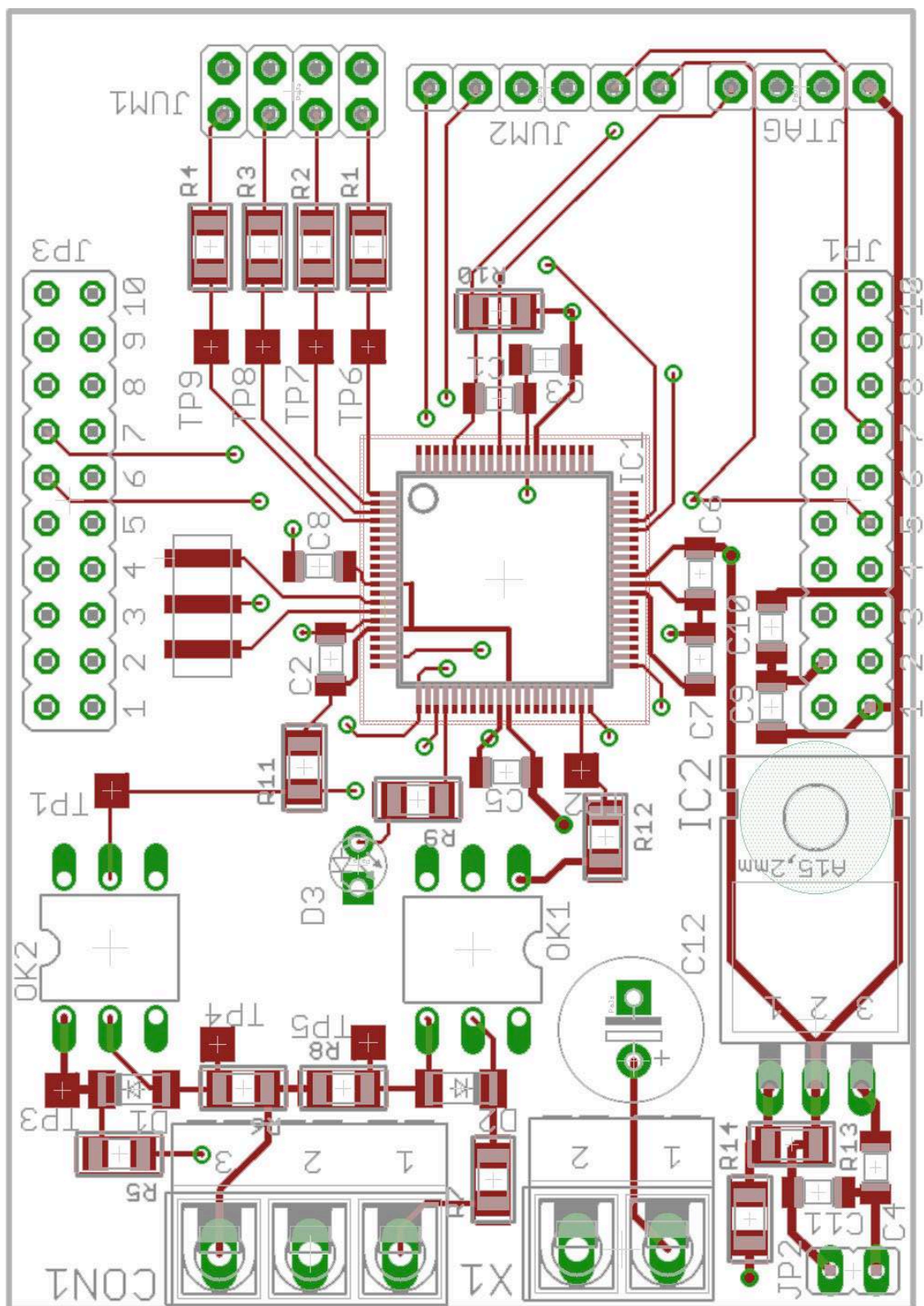
Příloha 2 – Celkové schéma zapojení gateway



Příloha 3 – DPS – soupis použitých součástek

Množství	Hodnota	Typ	Pouzdro	Součástky	Popis
1		AK500/2-H	AK500/2-H	X1	konektor konektory pro CC3100
2		JP10Q	JP10Q	JP1, JP3	jumper
1		JP1E	JP	JP2	
1		LED	LED	D3	LED - L-HLMP-3507
1	0,001u	C1206	1206	C1	
5	0,1u	C1206	1206	C2, C3, C5, C6, C8	
3	0,68u	C1206	1206	C4, C7, C11	
1	1,5k	R_1206	R1206	R13	
1	100n	C1206	1206	C10	
1	100u	C-EL_3,5	C-EL_3,5	C12	Kondenzátor - elektrolytický
1	10k	R_1206	R1206	R10	
4	15	R_1206	R1206	R5, R6, R7, R8	
1	2,2u	C1206	1206	C9	
1	2,4k	R_1206	R1206	R14	
1	3,3k	R_1206	R1206	R11	
6	499	R_1206	R1206	R1, R2, R3, R4, R9, R12	
2		MMSZ4699	SOD-123_MINI-SMA	D1, D2	Zenerovy diody
2		CNY17F	DIL06	OK1, OK2	optočlen
1		AK500/3-H	AK500/3-H	CON1	CONNECTOR
1		EFOS8004E5	EFOS	Y1	rezonátor
1		LM317T	TO220L1	IC2	lineární stabilizátor napětí
1	MSP430F5418	MSP430F5418	PN_S-PQFP-G80	IC1	řídící mikrokontroler
1	S1G4_JUMP	S1G4_JUMP	S1G4_JUM	JTAG	
1	S1G6_JUMP	S1G6_JUMP	S1G6_JUM	JUM2	
1	S2G4_JUMP	S2G4_JUMP	S2G4_JUM	JUM1	

Příloha 4 – DPS – vrstva TOP



Příloha 5 – DPS – vrstva BOTTOM

